



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
& ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύγκριση ευτροφικού καθεστώτος δύο ρηχών λιμνών».

**Η περίπτωση μελέτης της λίμνης Καστοριάς (φυσική λίμνη) και της λίμνης
Κερκίνης (τεχνητή λίμνη)»**

Γεωργιάδου Μαρία
Μήνου Θεολογία

Βόλος, 2017

Εξεταστική Επιτροπή:

1) Ψιλοβίκος Άρης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων.**

2) Κορμάς Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος.**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ.....	17
2.1 Γενικά για τον ευτροφισμό.....	17
2.2 Παράμετροι Ποιότητας	20
2.2.1 Οργανοληπτικές Παράμετροι.....	20
2.2.2 Φυσικοχημικές Παράμετροι.....	23
2.2.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	28
2.2.4 Διαλυμένα αέρια	29
2.2.5 Θρεπτικά Στοιχεία	33
2.2.6 Τοξικές ουσίες	41
2.2.7 Ραδιενεργές Ουσίες	41
2.2.8 Θερμική Ρύπανση.....	42
2.2.9 Δείκτες ποιότητας νερού.....	42
2.2.10 Βιολογικές Παράμετροι.....	42
3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟ 2000/60/ΕΚ	48
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	50
4.1 Περιοχή Μελέτης 1: Λίμνη Καστοριάς (ΠΜ1)	50
4.2 Περιοχή Μελέτης 2: Λίμνη Κερκίνης (ΠΜ2).....	54
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	62
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
ABSTRACT	98

Στις οικογένειές μας...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να περατωθεί η παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Άρη Ψιλοβίκο για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή καθοδήγηση και υποστήριξή του, τόσο κατά τη συγκέντρωση των στοιχείων όσο και κατά τη επεξεργασία τους και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Τα στοιχεία αφορούν συγκεκριμένες Ποιοτικές Παραμέτρους του Νερού μετρημένες είτε με δειγματοληπτικές μεθόδους είτε ηλεκτρονικά με τηλεμετρικές μεθόδους.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κορμά για τις χρήσιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του καθ' όλα τα στάδια εκπόνησης και ολοκλήρωσης της εργασίας.

Θα ήταν παράλειψή μας να μην ευχαριστήσουμε το προσωπικό του Φορέα Διαχείρισης της λίμνης Κερκίνης και του Τμήματος Περιβάλλοντος – Υδροοικονομίας της Περιφερειακής Ενότητας Καστοριάς, για την ευγενική χορήγηση των στοιχείων των μετρήσεων για τις 2 λίμνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την υποψήφια διδάκτορα κα Λίνα Καραμούτσου για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της και υπομονή της για όλες εκείνες τις ατελείωτες ώρες δουλειάς οι οποίες φρόντισαν για τη δημιουργία μιας νέας και πραγματικής φιλίας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους τους φίλους και φίλες, παλαιότερους και νέους, οι οποίοι ήταν παρόντες σε όλη τη διάρκεια των πέντε ετών φοίτησης μας στο Βόλο καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στις οικογένειές μας, οι οποίες μας στήριξαν σε κάθε δυσκολία, ψυχολογική και οικονομική, σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μας καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση και προ πάντων κατανόηση και ανοχή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατάσταση της ποιότητας του νερού είναι ένα πολύπλοκο αποτέλεσμα τόσο των φυσικών όσο και των ανθρώπινων διαδικασιών και της αλληλεπίδρασής τους στο χώρο και το χρόνο. Η λίμνη Κερκίνη, η οποία βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία, είναι μια τεχνητή ρηχή λίμνη. Η λίμνη Καστοριά είναι μια φυσική, ρηχή λίμνη που βρίσκεται στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Και οι δύο λίμνες προστατεύονται από οδηγίες, κανονισμούς και διεθνείς συμβάσεις, όπως η Σύμβαση Ramsar για τη Κερκίνη και το δίκτυο Natura 2000 και για τις δύο, με επίκεντρο την προστασία του περιβάλλοντος τους. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η σύγκριση συγκεκριμένων οργανοληπτικών και φυσικοχημικών ποιοτικών παραμέτρων των δύο λιμνών καθώς επίσης και της κατάστασης ευτροφισμού δύο ρηχών λιμνών, μιας φυσικής (Λίμνη Καστοριάς) και μιας τεχνητής (Λίμνη Κερκίνης). Για το σκοπό αυτό, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν διάφορες παράμετροι ποιότητας και τέλος αποτιμήθηκαν συγκριτικά για τις δύο λίμνες. Η περίοδος καταγραφής για τη Λίμνη Καστοριά ήταν απ' το 2005 έως το 2014 (in situ) και για τα έτη 2016 και 2017 (monitoring) ενώ για τη Λίμνη Κερκίνη επεξεργάστηκαν δεδομένα για τα έτη 2011 έως 2016 (in situ και monitoring). Πραγματοποιήθηκε σύγκριση της φυσικής λίμνης με την τεχνητή λίμνη και για τη σύγκριση αυτή υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη Carlson για τις τιμές του βάθους του δίσκου Secchi, της Χλωροφύλλης α και του Ολικού Φωσφόρου. Η επεξεργασία των ληφθέντων δεδομένων αποκάλυψε τη μεγάλη σημασία του χρόνου παραμονής του νερού για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης ευτροφισμού και έδειξε ότι η φυσική (Λίμνη Καστοριά) είναι λιγότερο ευτροφική από τη τεχνητή λίμνη (Λίμνη Κερκίνη).

Λέξεις κλειδιά: ευτροφισμός, τεχνητή λίμνη, φυσική λίμνη, δείκτες Carlson

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε υδάτινο σώμα δεν είναι κατ' ανάγκη διαθέσιμο και δεν μπορεί να διατεθεί για χρήση. Ένα υδάτινο σώμα για να μπορεί να θεωρηθεί πόρος, πρέπει ο υδάτινος όγκος του να διατίθεται για χρήση σε επαρκή ποσότητα, κατάλληλη ποιότητα, ενώ θα πρέπει να μπορεί να προσδιοριστεί και η χρονική περίοδος, στην οποία μπορεί να ικανοποιήσει τη συγκεκριμένη ζήτηση. Ένας υδατικός πόρος, μπορεί ήδη να είναι σε χρήση ή να αποτελεί αποθηκευτικό δυναμικό στρατηγικής για το μέλλον. Ο πόρος αυτός όμως καθορίζεται από τη τρέχουσα και μελλοντική αξιοπιστία του, ενώ είναι δυνατό το μέγεθος του καθώς και η αξιοπιστία του να επηρεαστούν από μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες μιας περιοχής, και με αυτό τον τρόπο να ακυρωθεί εν τέλει η χρήση του (Σούλιος, 1995, Τσακίρης, 1996).

Στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους κατατάσσονται τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, τα έλη, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες, ενώ στους υπόγειους υδατικούς πόρους συμπεριλαμβάνονται τα νερά των γεωτρήσεων, των πηγαδιών, των πηγών και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων (Taub, 1984, CEC, 1992, Boonet al., 1992).

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως άνυδρη χώρα εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης της, της γενικότερης γεωμορφολογικής της σύστασης και της τεκτονικής της δομής καθώς και από το ξηροθερμικό κλιματικό περιβάλλον της. Παρόλα αυτά όμως και σύμφωνα με τον OECD (1982) για κάθε κάτοικο της Ελλάδας αναλογεί ετησίως μεγαλύτερη επάρκεια νερού, απ' ότι στις άλλες μεσογειακές χώρες, αν και η ανομοιόμορφη χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων δημιουργεί προβλήματα επάρκειας υδατικών πόρων.

Το σύνολο της επιφάνειας της χώρας περιλαμβάνει επιφανειακούς υδατικούς πόρους συνολικής επιφάνειας γύρω στα 2200 km², δηλαδή ποσοστό κάλυψης 1.6%. Από αυτά οι φυσικές και οι τεχνητές λίμνες καλύπτουν έκταση περίπου 956 km² (47.2%), που χρόνο με το χρόνο μειώνονται με έργα αποξήρανσης και διευθετήσής τους (NA, 1970-1996, Κουσουρήs και συν., 1981-1994, ΕΚΒΥ, 1994).

Οι λίμνες σχηματίζονται σε κλειστά τοπογραφικά βυθίσματα. Η συγκέντρωση του επιφανειακού νερού, που οδηγείται από τους άξονες της επιφανειακής απορροής

– υδρογραφικό δίκτυο, επιτυγχάνεται όταν τα πετρώματα της θέσης, που δημιουργείται η λίμνη είναι πρακτικώς αδιαπέρατα, ή εμφανίζουν μια περατότητα πολύ μικρή σε σχέση με την παροχή του νερού που εισρέει. Οι λίμνες αποτελούν επίπεδο βάσης για τα επιφανειακά νερά και, ενίοτε, μερικώς ή ολικώς, και για τα υπόγεια, συγκρατώντας την απορροή και εμποδίζοντάς την να φτάσει στο φυσικό επίπεδο εκφόρτισης, που είναι το επίπεδο της θάλασσας. Κάθε λίμνη αποτελεί έναν ιδιαίτερο υγρότοπο, εμφανίζει ιδιαιτερότητες και θερμοκρασιακές ή άλλης μορφής στρωματώσεις στο νερό της. Τέτοιες στρωματώσεις μπορούν να αναφέρονται στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, στην εμφανιζόμενη πανίδα ή χλωρίδα κ.α. (Στουρνάρας, 2007). Στα υγρά κλίματα οι λίμνες έχουν σχεδόν πάντα γλυκό νερό ενώ στα ξηρά κλίματα η ισχυρή εξάτμιση κάνει τα νερά των λιμνών να εμπλουτίζονται με χλωριούχο νάτριο (NaCl), θειικό νάτριο (Na₂SO₄), ανθρακικό νάτριο (Na₂CO₃) και άλλα άλατα οπότε προκύπτουν οι αλμυρές λίμνες. Έτσι λοιπόν, με βάση το ποσοστό της αλατότητας, οι λίμνες διαχωρίζονται σε λίμνες γλυκού νερού (0.3-1‰ αλατότητα), υφάλμυρου νερού (αλατότητα 1 - 24.7‰) και αλμυρού νερού (αλατότητα 27+ ‰). Επιπλέον, οι λίμνες χωρίζονται σε ανοικτές και κλειστές. Αν τα νερά της λίμνης απορρέουν προς μια χαμηλότερη περιοχή διαμέσου ενός ποταμού τότε η λίμνη λέγεται ανοιχτή. Αν αντίθετα οι μόνες απώλειες νερού της λίμνης είναι αυτές που οφείλονται στην εξάτμιση ή σε πιθανές διηθήσεις του νερού στο έδαφος, τότε η λίμνη λέγεται κλειστή. Οι λίμνες καλύπτουν το 1/8 της επιφάνειας της χέρσου και το βάθος τους είναι σχετικά μικρό σε σχέση με αυτό των θαλασσών και των ωκεανών. Σύμφωνα με τους Zacharias et al. (2002) στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν ελάχιστες βαθιές λίμνες με βάθος μεγαλύτερο των 50 μέτρων (Ζηρός, Βεγορίτιδα, Τριχωνίδα), ενώ αρκετές λίμνες είναι ρηχές και εποχικές, όπου από αυτές οι 60 είναι φυσικές και το 70% αυτών αβαθείς.

Η γεωμορφολογία των λιμνών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς των υδατικών οικοσυστημάτων. Σύμφωνα με τον Timms (1992), οι λίμνες μπορούν να διακριθούν σε εννέα μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη γεωμορφολογία τους και την προέλευση της λιμναίας λεκάνης:

- Τεκτονικές λεκάνες
- Ηφαιστειογενείς λίμνες
- Φραγματογενείς λίμνες
- Παγετώδεις λίμνες

- Καρστικές λίμνες
- Λιμναίες λεκάνες ποτάμιας προελεύσεως
- Λίμνες αιολικής δράσης
- Παράκτιες λίμνες
- Λίμνες οργανικής προέλευσης

Ακόμη η παραγωγικότητα της λίμνης επηρεάζεται συχνά από το σχήμα της λιμναίας λεκάνης. Στις βαθιές και σχετικώς μη παραγωγικές λίμνες κατατάσσονται οι λίμνες με σχήμα U ή V ενώ, στις αβαθείς με μέτρια ως υψηλή παραγωγικότητα ανήκουν οι κοιλότητες στις οποίες η επαφή του νερού με τα ιζήματα της λεκάνης είναι μεγαλύτερη (Σίνη, 2005).

Επιπρόσθετα, τα χαρακτηριστικά των λιμνών επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες. Δηλαδή, λίμνες που βρίσκονται στην ίδια κλιματική ζώνη, περιλαμβάνουν υδροδυναμικές, υδροχημικές και υδροβιολογικές συνθήκες. Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τον Ζαχαρία (1992) ανάλογα με το κλίμα οι λίμνες διακρίνονται σε τρεις διαφορετικές ζώνες:

- Ζώνη τροπικών και υποτροπικών λιμνών γλυκού νερού.
- Ζώνη αλμυρών και υφάλμυρων λιμνών βόρεια και νότια των προηγούμενων.
- Ζώνη ορεινών λιμνών.

Η υδάτινη μάζα έχει χαρακτηριστική κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας. Έτσι οι λίμνες μπορούν ακόμα να διακριθούν και με βάση την θερμοκρασία που επικρατεί στα στρώματά τους. Σύμφωνα λοιπόν με τον Hutchinson (1957) αναπτύσσονται οι παρακάτω όροι με τους οποίους γίνεται διάκριση της λίμνης σε 3 τμήματα ανάλογα τη θερμοκρασία:

- Το ανώτερο στρώμα ύδατος, ομοιόμορφης θερμοκρασίας, το οποίο κυκλοφορεί και είναι αρκετά τυρβώδες και ονομάζεται επιλίμνιο.
- Το μεσαίο τμήμα που έχει μικρότερη θερμοκρασία από το επιλίμνιο, είναι το μεσολίμνιο ή αλλιώς θερμοκλινές. Έχει χαμηλότερη πυκνότητα και είναι πιθανόν πολλές φορές λόγω των ανέμων τα δύο αυτά στρώματα να αναμειγνύονται και να ομογενοποιούνται. Το φθινόπωρο, με την πτώση της θερμοκρασίας και την αύξηση του κυματισμού, δημιουργείται κατακόρυφη κυκλοφορία και το θερμοκλινές εξαφανίζεται.

- Το βαθύτερο στρώμα που φτάνει μέχρι και τον πυθμένα είναι το υπολίμνιο όπου έχουμε την πλέον μικρή πυκνότητα και χαμηλότερη θερμοκρασία. Το στρώμα αυτό δεν αναμειγνύεται με τα υπερκείμενα του (Hutchinson, 1957), παρά μόνο μία ή δύο φορές το χρόνο σε βαθιές λίμνες (μονομικτικές ή διμικτικές αντίστοιχα) ή και περισσότερες (πολυμικτικές).

Σε κάθε λίμνη διακρίνονται δύο ζώνες βάθους που έχουν τις ίδιες αναλογίες με το θαλάσσιο περιβάλλον. Η πρώτη ζώνη λέγεται παράκτια και ξεκινά από την ακτή και φτάνει μέχρι το σημείο που το φως μπορεί να δώσει καλά ανεπτυγμένα φυτά. Το υπόλοιπο τμήμα ονομάζεται πελαγική ζώνη. Έτσι μπορεί να διακριθεί η ευφωτική και η αφωτική ζώνη. Η επιφανειακή ζώνη της λίμνης που διαπερνάται από το φως λέγεται ευφωτική, ενώ η έλλειψη φωτός χαρακτηρίζει την αφωτική ζώνη. Τα όρια αυτών διαφοροποιούνται συχνά διότι με την μεταβολή της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η επιφάνεια της λίμνης κατά τη διάρκεια της μέρας αλλάζει το βάθος στο οποίο θα φτάσει το φως. Ο βυθός διαχωρίζεται σε ευδιάκριτες μεταβατικές ζώνες από την ακτή έως και το βαθύτερο σημείο.

Οι λίμνες κατατάσσονται σύμφωνα με το ποσοστό οργανικού υλικού που περιέχουν δηλαδή το δείκτη τροφικότητας σε:

- **Ολιγοτροφικές:** Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό και θρεπτικά συστατικά και υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο με αποτέλεσμα να σχηματίζονται οξειδωτικές συνθήκες στο υπολίμνιο. Σε αυτές τις λίμνες ο χρωματισμός ποικίλει μεταξύ πράσινου και μπλε εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας σε νιτρικά και φωσφορικά άλατα. Η ποσότητα των ανθρακικών μεταβάλλεται συνεχώς. Συνήθως υπάρχει παρουσία αργιλικών ιζημάτων με αιωρούμενο αργιλικό υλικό. Η παραλίμνια βλάστηση δεν είναι τόσο έντονη (Alexander, 1994).
- **Μεσοτροφικές:** Χαρακτηρίζονται από ενδιάμεσα επίπεδα παραγωγικότητας μεταξύ των ολιγοτροφικών και υπερτροφικών λιμνών. Οι λίμνες αυτές έχουν μεσαία συγκέντρωση θρεπτικών και κατά κύριο λόγο τα νερά τους είναι διαυγή. Περιέχουν βυθισμένα υδρόβια φυτά και ενδέχεται να εμφανίσουν χαρακτηριστικά ευτροφισμού κατά περιόδους (Ψιλοβίκος, 2014).
- **Ευτροφικές:** Παρατηρείται υψηλή βιολογική δραστηριότητα, υψηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού και θρεπτικών συστατικών. Το διαλυμένο οξυγόνο υπάρχει σε μικρή ποσότητα και το υπολίμνιο μπορεί να φτάσει σε

κορεσμό. Αυτές οι λίμνες είναι πλούσιες σε νιτρικά , φωσφορικά και ανθρακικά άλατα και έτσι ο χρωματισμός τους είναι πράσινος και μπορεί κατά περιπτώσεις να γίνει και κίτρινος. Το πάχος του επιλιμνίου είναι μεγαλύτερο από αυτό του υπολιμνίου. Το αιωρούμενο υλικό αποτελείται κυρίως από πλαγκτόν και παρατηρείται μεγάλη ποσότητα βλάστησης κοντά στο επιλίμνιο. Οι ευτροφικές λίμνες βρίσκονται κυρίως σε περιοχές με πορώδη ιζήματα που είτε περιέχουν, είτε εμπλουτίζονται σε οργανικό υλικό (Alexander, 1994).

- **Υπερευτροφικές – Δυστροφικές:** Όταν η ποσότητα σε οργανικό υλικό, θρεπτικά συστατικά αυξηθεί ενώ η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μειωθεί έχουμε την δημιουργία αναγωγικών συνθηκών και την μετατροπή μιας ευτροφικής λίμνης σε δυστροφική. Σε αυτές τις λίμνες ο χρωματισμός είναι καφέ λόγω αιώρησης χουμικών κολλοειδών συστατικών. Τα ιζήματα είναι συνήθως ιλύολιθοι με άργιλο, διατομούχα ορυκτά και σιδηρούχες αποθέσεις. Σε περίπτωση που το οξυγόνο μειωθεί δραματικά μέχρι να εξαφανιστεί η περιοχή μετατρέπεται σε έλος και υπάρχει περίπτωση να γίνει χώρος απόθεσης τύρφης (Alexander, 1994).

Ένα επιπλέον σημαντικό παράγοντα για κάθε λιμναίο οικοσύστημα αποτελεί η λεκάνη απορροής της κάθε λίμνης γιατί αφενός μεν τροφοδοτεί τη λίμνη με τις απορροές και τις υπολίμνιες πηγές της, αφετέρου μια αλλαγή στη λεκάνη απορροής, όπως μια οικιστική επέκταση, ένα αποστραγγιστικό έργο ή μια φωτιά σε δασική έκτασή της μπορούν να τροποποιήσουν την ευαίσθητη ισορροπία του λιμναίου οικοσυστήματος (Σίνης, 2005). Το μέγεθος, η κλίση, η γεωλογική δομή και οι κλιματικές συνθήκες της λεκάνης απορροής μιας λίμνης επιφέρουν αλλαγές στο είδος και στη συγκέντρωση των μεταλλικών στοιχείων που βρίσκονται στη λίμνη. Επιπλέον, το μέγεθος της λεκάνης απορροής προς την επιφάνεια της λίμνης επηρεάζει τον ευτροφισμό κάθε λίμνης, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι αυτός ο λόγος τόσο μεγαλύτερος ευτροφισμός παρατηρείται. Τέλος, εκτός από τις δραστηριότητες του ανθρώπου που επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής, σημαντικές αλλαγές παρατηρούνται και από τις υδρολογικές συνθήκες, οι οποίες μεταβάλλουν τα φερτά υλικά που μεταφέρονται και μέρος αυτών αποτίθενται τελικά στη λίμνη ως ιζήμα (Σίνης, 2005). Για παράδειγμα, σύμφωνα με τον Rawson (1956) το ζεστό κλίμα συμπεριλαμβανομένου του μεσογειακού, αυξάνει την διάβρωση με αποτέλεσμα την μεταφορά μεγαλύτερου ποσοστού ιζήματος και θρεπτικών συστατικών (άζωτο, φώσφορος, άνθρακας) στην λίμνη.

Οι λίμνες επιπλέον, διακρίνονται σε βαθιές και αβαθείς. Εκατομμύρια αβαθών λιμνών και λιμνίσκων σχηματίζονται σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου με ήπιο ανάγλυφο και σε πλημμυρικά πεδία που γειτνιάζουν με ποτάμια οικοσυστήματα. Αυτά τα αβαθή ύδατα σπανίως διέπονται από θερμική διαστρωμάτωση και όταν αυτή εγκαθίσταται είναι μόνον βραχείας διαρκείας. Σε σύγκριση με βαθιές λίμνες οι αβαθείς έχουν αναλογικώς μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θρεπτικά, μικρότερες απώλειες και μεγαλύτερες ταχύτητες ανακύκλωσης θρεπτικών (Wetzel, 2007). Τα νερά τους αναδεύονται σποραδικά, καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού, οδηγώντας σε περισσότερο εσωτερικά φορτία θρεπτικών ενώσεων (N, P, C). Κατά τους Scheffer et al (1993), Blindow et al (1993) οι ρηχές λίμνες μπορούν να βρίσκονται σε δύο εναλλακτικές σταθερές καταστάσεις, μία όπου επικρατεί υψηλή θολότητα και μία όπου επικρατεί μεγάλη διαύγεια των υδάτων. Η εναλλαγή της κατάστασης οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ υδρόβιας βλάστησης (μακροφύτων, βενθικών μικροοργανισμών και φυτοπλαγκτού) και θολότητας. Η υδρόβια βλάστηση τείνει να ενισχύει τη διαύγεια του νερού, ενώ η αυξημένη θολότητα καταστέλλει την ανάπτυξη της υδρόβιας βλάστησης (Jeppesen et al., 1997a).

Πίνακας 1.1: Κατάλογος των φυσικών λιμνών της Ελλάδας με τα αντίστοιχα βάθη (Ζαλίδης & Μαντζαβέλας, 1994).

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ
Τριχωνίδα	58
Βόλβη	23
Βεγορίτιδα	60
Βιστωνίδα	4
Κορώνεια	1
Μικρή Πρέσπα	8,4
Μεγάλη Πρέσπα	50
Ορεστιάδα (Καστοριάς)	9
Παμβώτιδα	11

Υλίκη	24
Δοϊράνη	4
Αμβρακία	40
Λυσιμαχία	9
Πετρών	3
Παραλίμνη	38,5
Χειμαδίτιδα	2,5
Οξερός	10
Βουλκαρία	2,5
Δύστος	3
Πικρολίμνη	1
Στυμφαλία	5
Μητρικού (Ισμαρίδα)	1,5
Σαλτίνη	
Ζάζαρη	3
Καϊάφα	
Μόρφη	
Λάμια	
Κουρνά	
Πωγωνίτσα	
Ζηρός	68
Προντάνη	
Ζαραβίνα	31,5
Κόκκαλα	
Μικρή Σαλτίνη	

Κουμουνδούρου	5
Αεροφωλιές	
Σαΐτα	
Αβιλαριάς	
Μουστός	
Νυμφών	
Τσεκούρι	
Σκεπή	
Σπίτια	
Γυναίκα	

Πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενο του ευτροφισμού, παρουσιάζεται σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους κάτω από ορισμένες συνθήκες. Στην ουσία δημιουργείται υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, που προκαλείται από τον εμπλουτισμό των υδάτων με απορροές θρεπτικών στοιχείων (νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από λιπάσματα και απορρυπαντικά). Τα βακτήρια και τα φύκη (algae) αυξάνονται σε αριθμό τόσο, που προκαλούν σκίαση στις υδάτινες επιφάνειες (Σίνης, 2005). Χωρίς φως, οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί στον πυθμένα στρεσάρονται και τελικά θανατώνονται, προσφέροντας ακόμη μεγαλύτερη ποσότητα τροφής σε άλλα βακτήρια, που συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Καθώς ο αριθμός των βακτηρίων αυξάνεται, η κατανάλωση του διαλυμένου στο νερό οξυγόνου αυξάνεται δραματικά, ενώ η παραγωγή ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει οξυγόνο για τους μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως, π.χ. τα ψάρια. Τα ψάρια είναι οι πρώτοι οργανισμοί που πεθαίνουν ενώ ακολουθούν και τα βακτήρια δημιουργώντας ένα νεκρό οικοσύστημα (Σίνης, 2005). Αποτέλεσμα του ευτροφισμού είναι η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, η μεταβολή της χλωρίδας και πανίδας, η μείωση της αισθητικής αξίας του περιβάλλοντος καθώς και οι περιορισμένες δυνατότητες για αναψυχή (Σίνης, 2005). Συγκεκριμένα στην Ελλάδα το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει το 25% των λιμνών της χώρας ως αποτέλεσμα της συγκέντρωσης νιτρικών και φωσφορικών ενώσεων, κυρίως από τα γεωργικά και αστικά απόβλητα στα

επιφανειακά νερά. Όπως επισημαίνεται στην έκθεση του ΕΚΠΑΑ ([http 1](http://1)), οι λίμνες Βεγορίτιδα, Βιστωνίδα, Βόλβη, Δοϊράνη, Ζάζαρη, Καστοριάς, Λαγκαδά, Λυσιμαχεία, Κερκίνη, Παμβώτιδα, Παραλίμνη, Πετρών, Υλίκη, Χειμαδίτιδα παρουσιάζουν ευαισθησία ως προς τον ευτροφισμό.

Επίσης οι λίμνες, ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργούνται, χωρίζονται σε τεχνητές και φυσικές. Οι τεχνητές λίμνες (ή ταμιευτήρες) είναι ανοιχτοί φορείς νερού, που έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο, και χρησιμεύουν στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης αστικών περιοχών και στην άρδευση καλλιεργειών κατά τις άνυδρες εποχές του έτους (Σίνης, 2005). Λειτουργούν ως ρυθμιστές σε περιόδους πλημμύρας ακόμα και για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Από τη φύση της κατασκευής τους, καλύπτουν συνήθως μονομερείς χρήσεις και ο λειτουργικός σκοπός τους εντοπίζεται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην άρδευση και στην ύδρευση, ενώ υπάρχουν προοπτικές για την αξιοποίησή τους, ώστε να καλύπτουν και άλλες χρήσεις, χωρίς να παρεμποδίζεται η κύρια λειτουργικότητά τους. Στον Πίνακα 1.2 αναφέρονται οι υπάρχουσες τεχνητές λίμνες της Ελλάδας όπως και κάποια χαρακτηριστικά τους. (Σίνης, 2005). Οι φυσικές λίμνες της χώρας εξυπηρετούν την κάλυψη αναγκών σε τοπικό επίπεδο, την άρδευση, την αλιεία, την απόρριψη κάθε είδους υλικών και ουσιών μέσα στις λεκάνες και άλλες δραστηριότητες οι οποίες είναι σταθερές ή και μεταβάλλονται ανάλογα με τους διάφορους τοπικούς παράγοντες και ιδιαιτερότητες. Η κύρια διαφορά των φυσικών με τις τεχνητές λίμνες εντοπίζεται στις περιόδους ξηρασίας, όπου η άντληση νερού από τους ταμιευτήρες υπερβαίνει το ποσό συμπλήρωσής τους με νερό από τους τριγύρω ποταμούς και έτσι επέρχεται σημαντική μείωση στη στάθμη (Σίνης, 2005).

Πίνακας 1.2: Φράγματα – ταμιευτήρες νερού σε ποταμούς της Ελλάδας, που κατασκεύασε η ΔΕΗ για την παραγωγή Υ/Η ενέργειας, αλλά εξυπηρετούν και άλλους σκοπούς (Αστάρα και συν., 2002).

ΠΟΤΑΜΟΣ	ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ	ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ (m ³)
Αλιάκμονας	Πολυφύτου	1200x10 ⁶
	Σφηκιάς	99x10 ⁶
	Ασωμάτων	53x10 ⁶

	Αγ. Βαρβάρας	1.5×10^6
Νέστος	Θησαυρού	700×10^6
	Πλατανόβρυσης	84×10^6
Στρυμόνας	Κερκίνης	500×10^6
Εδεσσαίος	Άγρα	4×10^5
Αχελώος	Μεσοχώρας	228×10^6
	Σφυκιάς	502×10^6
	Κρεμαστών	4700×10^6
	Καστρακίου	1000×10^6
	Ταυρωπού	400×10^6
	Στράτου	150×10^6
Αραχθός	Πουρναρίου	865×10^6
Μόρνος		780×10^6
Πηνειός	Λάδωνος	60×10^6
Λούρος		7.05×10^5
Αώος	Πηγές	260×10^6
Λοιποί		11×10^6

Το εσωτερικό περιβάλλον των λιμνών καθορίζεται από μια σειρά παραμέτρων όπου μία από αυτές είναι και ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη ανανέωση του συνολικού όγκου του νερού μιας λίμνης. Για παράδειγμα, αν ο όγκος των νερών μιας λίμνης είναι σχετικά μικρός και η απορροή σχετικά μεγάλη, τότε ο χρόνος παραμονής των νερών στη λίμνη θα είναι μικρός και συνεπώς, τα θρεπτικά που είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκρήξεις του φυτοπλαγκτού, γρήγορα θα απομακρύνονται από το υδάτινο σώμα. Αντίθετα, αν ο χρόνος ανανέωσης των νερών είναι μεγάλος και οι συνθήκες θερμοκρασίας και θρεπτικών κατάλληλες, η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού ευνοείται (Ζανάκη, 1996).

2. ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ

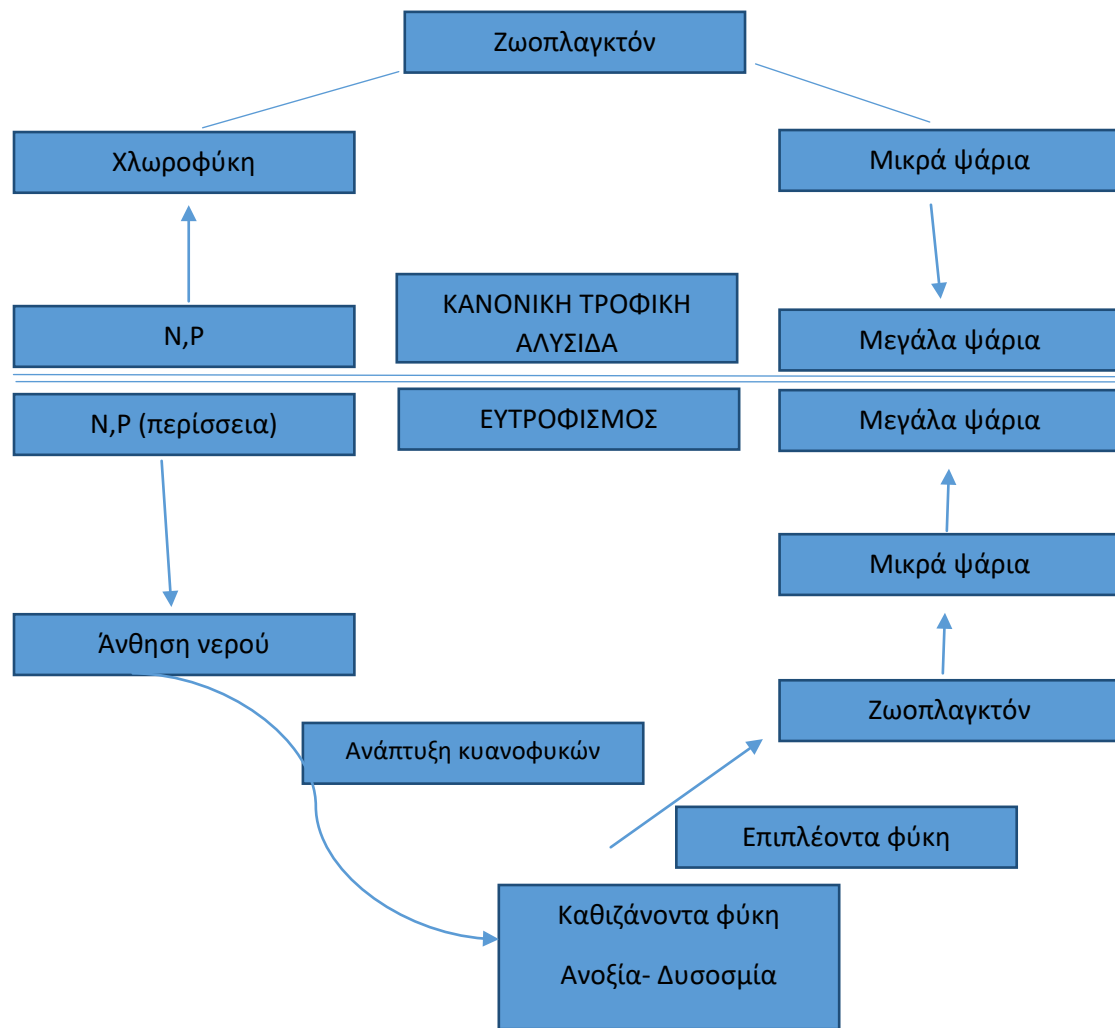
2.1 Γενικά για τον ευτροφισμό

Ως ευτροφισμός, ορίζεται το φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο συμβαίνει επιβάρυνση από ανόργανο και οργανικό φορτίο σε ένα υδατικό οικοσύστημα αυξάνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας τον όγκο της λίμνης (Ψιλοβίκος, 2014). Ο ευτροφισμός οδηγεί σε μια σειρά από βιολογικές αλλαγές στις λίμνες, έχοντας αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική τους κατάσταση. Όταν σε μία αρχικά φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία λίμνη (ολιγότροφη) γίνει βαθμιαία προσθήκη θρεπτικών, δημιουργείται συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων τόσο στη μάζα του νερού, όσο και στα ιζήματα του πυθμένα προκαλώντας την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού (εύτροφος) (Τσακίρης, 2013). Η προσθήκη αυτή γίνεται με φυσικό τρόπο μέσω των χειμάρρων, των υπόγειων εκβολών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Τσικριτής, 1986). Κατά τα μέσα και τέλη του 20^{ου} αιώνα ο ευτροφισμός ή ο τροφικός εμπλουτισμός εμφανίστηκε ως πρόβλημα. Γίνεται λόγος για έναν τεχνητό ευτροφισμό, ο οποίος πηγάζει από την αστική, τη βιομηχανική και την αγροτική δραστηριότητα του ανθρώπου. Κατά κύριο λόγο, οι ρηχές λίμνες που συναντώνται σε πεδινές περιοχές και είναι πολύ ευάλωτες στον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά άλατα λόγω απορροής των γεωργικών, αστικών και βιομηχανικών χρήσεων γης που αυξάνονται και μεταβάλλονται συνεχώς, με σημαντικές επιπτώσεις στην ροή των θρεπτικών συστατικών (Wetzel, 1990; Moss, 1998; Wetzel, 2001; Smith et al., 1999; Jeppesen et al., 2003). Τα θρεπτικά αυτά συστατικά είναι κυρίως άζωτο και φώσφορος τα οποία προέρχονται από λιπάσματα (νιτρικά και φωσφορικά), απορρυπαντικά (φωσφορικά), ρύπανση από λύματα και υγρά απόβλητα (νιτρικά, αμμωνιακά, φωσφορικά) κλπ. (Δαλέζιος, 1999). Το φαινόμενο του ευτροφισμού όμως, δεν είναι αποτέλεσμα μόνο ανθρωπογενών παραγόντων, αλλά αφορά και οποιαδήποτε μεταβολή μέσα σε μια φυσική ή μη λεκάνη απορροής, η οποία θα επηρεάσει τη βιολογική κατάσταση των λιμνών.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από τη μορφολογία της λίμνης και από τη ταχύτητα ανανέωσης του νερού της. Σε βαθιές λίμνες μεγάλου όγκου η αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων γίνεται με

αργούς ρυθμούς. Το ίδιο συμβαίνει και σε λίμνες όπου το νερό ανανεώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα εξαιτίας μεγάλων εισροών και εκροών νερού. Αντιθέτως σε κλειστές λίμνες είναι πιο εύκολη η αύξηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών εφόσον οι εισροές νερού αντισταθμίζονται μόνο από τις απώλειες λόγω εξάτμισης (Τσικριτσής, 1986).

Η παραγωγικότητα μιας λίμνης οφείλεται στην αύξηση της βιομάζας (αύξηση των θρεπτικών στοιχείων). Η αύξηση της βιομάζας, στη διάρκεια του χρόνου, έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, καθώς αυτό καταναλώνεται από τα βακτήρια για την αποικοδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης. Η αύξηση αυτή προκαλείται στα αρχικά στάδια του ευτροφισμού λόγω της εκρηκτικής αύξησης των πρωτογενών παραγωγών οι οποίοι με τον καιρό υστερούν των καταναλωτών. Οι παραγωγοί μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης συνθέτουν οργανική ύλη χρησιμοποιώντας ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Η ύλη αυτή καταναλώνεται από μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς ή καταναλωτές. Οι αποσυνθέτες μετά το θάνατο των οργανισμών (παραγωγών ή καταναλωτών) μετατρέπουν τα οργανικά υλικά τα οποία απομακρύνονται από τη τροφική αλυσίδα σε ανόργανα στοιχεία (Ψιλοβίκος, 2014). Αυτά εφόσον επιστρέψουν στη τροφική αλυσίδα θα ξαναχρησιμοποιηθούν από τους πρωτογενείς παραγωγούς (Τσακίρης, 2013). Υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων σε λίμνες, ιδιαίτερα σε αβαθείς, μπορούν να επηρεάσουν τη ροή της τροφικής αλυσίδας και έτσι να πραγματοποιηθεί συνεχής και μη αναστρέψιμη ανάπτυξη φυκών και φυτών που οδηγεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Κατά την αποσύνθεση των φυκών καταναλώνεται ολόένα και περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο από τους οργανισμούς για την αποικοδόμηση της οργανικής τους ύλης. Παράλληλα τα θρεπτικά άλατα που απελευθερώνονται από τους αποικοδομητές οργανισμούς, καθορίζουν τη βάση για περαιτέρω ανάπτυξη των φυκών και των φυτών. Συμπερασματικά, η απώλεια οξυγόνου οδηγεί στο θάνατο των υδρόβιων οργανισμών, καθώς και στην επικράτηση αναερόβιων διεργασιών που επιφέρουν δυσοσμία (Αλμπάνης, 1999). Στην εικόνα 2.1. διαφαίνεται η ανατροπή της ισορροπίας της ανάπτυξης υδρόβιων οργανισμών εξαιτίας του ευτροφισμού.



Εικόνα 2.1: Ανατροπή ισορροπίας στην ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών λόγω του ευτροφισμού (τροποποιημένο από Αλμπάνης, 1999).

Για την παρακολούθηση της τροφικής κατάστασης των λιμνών επιλέχθηκαν ορισμένες παράμετροι, οι λεγόμενοι δείκτες τροφικής κατάστασης (Trophic State Indices). Οι δείκτες τροφικής κατάστασης που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: **φυσικοί**, **χημικοί** και **βιολογικοί** (Shannon, 1970).

2.2 Παράμετροι Ποιότητας

2.2.1 Οργανοληπτικές Παράμετροι

2.2.1.1 Θολότητα ή Θολερότητα

Ως θολότητα ορίζεται, η οπτική ιδιότητα του δείγματος που προξενεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση, χωρίς να γίνεται επιτρεπτή η διέλευσή του (Ψιλοβίκος, 2014). Η θερμοκρασία και η αισθητική αξία κάθε υδάτινης περιοχής, το βιολογικό περιβάλλον, οι τροφικές σχέσεις και οι δραστηριότητες μερικών οργανισμών, επηρεάζονται άμεσα από τη θολερότητα, ενώ έχει αποδειχθεί ότι είναι ικανή να βοηθήσει την αλιεία σε ορισμένες περιπτώσεις (Welch, 1952). Επιπλέον, ανάλογα με το είδος και το βαθμό της θολερότητας, η ανθεκτικότητα και η ευαισθησία των οργανισμών ποικίλουν ενώ ακόμη η κατανάλωση του οξυγόνου επηρεάζεται άμεσα από τη θολερότητα. Η γενική παραγωγικότητα μιας υδάτινης μάζας τείνει να αλλάζει από τις μεγάλες συγκεντρώσεις της θολερότητας, διότι αυτές ασκούν εκλεκτική επίδραση στους οργανισμούς και μπορούν να τροποποιήσουν την κάθετη με το βάθος κατανομή τους (Κουσουρή, 1998). Άλλωστε, η θολερότητα παρουσιάζει ανομοιομορφίες λόγω της συνεχούς αλλαγής του χαρακτήρα του τυρώδους της ροής του νερού, της φύσης, της ποσότητας και της ποιότητας των νερών που εισρέουν σε μια υδατοσυλλογή, των ανέμων που φέρνουν φερτά υλικά, της αφθονίας του πλαγκτού, της διαμόρφωσης των ακτών καθώς και από άλλες τοπικές ιδιαιτερότητες (Welch, 1952; Cole, 1953).

2.2.1.2 Χρώμα

Ως χρώμα νοείται ο δείκτης παρουσίας διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών. Η απουσία μεγάλων ποσοτήτων φωτεινής ενέργειας από ένα υδατικό σύστημα είναι αποτέλεσμα της διάχυσης του φωτός από το νερό. Η διάχυση του φωτός διαφοροποιείται σχετικά με το βάθος, την εποχή και τη θέση του υδατικού συστήματος και επηρεάζεται από την κατανομή του σωματιδιακού υλικού στο νερό (Ψιλοβίκος, 2014).

Πιο συγκεκριμένα, σε λίμνες, οι οποίες παρουσιάζουν προβλήματα με το χρώμα των νερών τους εξαιτίας του ευτροφισμού, το χρώμα προέρχεται κυρίως από το οργανικό υλικό, το οποίο εμφανίζεται από νεκρά φύκη και την υδρόβια πανίδα σε διάφορα στάδια αποικοδόμησης. Τα οργανικά συστατικά είναι μεγάλα μόρια, τα οποία η μικροχλωρίδα αδυνατεί να τα αφομοιώσει και γι' αυτό το λόγο έχουν μεγάλη

διάρκεια ζωής και συγκεντρώνονται στα υδατικά οικοσυστήματα. Τα οργανικά συστατικά προέρχονται είτε από οργανισμούς, οι οποίοι έχουν ζήσει στη λίμνη και ονομάζεται αυτόχθονο υλικό είτε από τη λεκάνη απορροής που είναι και το μεγαλύτερο ποσοστό και λέγεται αλλόχθονο υλικό (Ψιλοβίκος, 2014).

Το χρώμα σε μία λίμνη μπορεί να ποικίλει σε γαλάζιο καθαρού νερού, σε γαλαζοπράσινο, σε πράσινο, σε πράσινο-κίτρινο και τέλος σε πράσινο-καφέ. Όταν το νερό μιας λίμνης παρουσιάζει καφέ χρώμα τότε αυτό, προέρχεται από τη παρουσία μεγάλων ποσοτήτων ανόργανων υλικών που μεταφέρονται μέσω ποταμών ή και διαμέσου του έντονου κυματισμού των νερών των λιμνών (Σίνης, 2005). Τέλος, όταν το νερό έχει χαρακτηριστικό πράσινο-μπλε χρώμα τότε αυτό οφείλεται στο ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), όπου διαχέει το φως στο πράσινο και μπλε τμήμα του φάσματος και μπορεί κάποιος να το παρατηρήσει σε λίμνες με υψηλή σκληρότητα νερού (Ματζαφλέρη, 2007).

2.2.1.3 Γεύση και οσμή

Τα προβλήματα που αφορούν τη γεύση στο νερό, προκαλούνται από τα μέταλλα δηλαδή από το σίδηρο (Fe), το χαλκό (Cu), το μαγγάνιο (Mn) και το ψευδάργυρο (Zn), ακόμη και από τα διαλυμένα άλατα (γνωστά ως TDS = Total Dissolved Solids). Όταν ισχύει ότι τα $\text{TDS} < 1200 \text{ mg/l}$, τότε δεν προκαλείται πρόβλημα στη γεύση και έτσι γίνονται αποδεκτά από τον καταναλωτή ενώ η ιδανική τιμή θα πρέπει να είναι $< 500 \text{ mg/l}$ (Ψιλοβίκος, 2014).

Η χλωρίωση είναι η σημαντικότερη αιτία για τη μη επιθυμητή γεύση στο νερό ύδρευσης. Η δημιουργία οσμής και γεύσης από τις ενώσεις που προκύπτουν κατά την αντίδραση του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού, αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα με τη χλωρίωση του νερού. Ακόμη, η παραγωγή δυσάρεστων γεύσεων και οσμών προκαλούνται περισσότερο εξαιτίας των επιφανειακών νερών, της αποικοδόμησης φυτικών υλικών και των προϊόντων μεταβολισμού των μικροοργανισμών, μέσω συνήθως των νηματοειδών βακτηρίων, των ακτινομυκήτων, των χλωροφυκών (κυανοφύκη) αν και πολύ πιθανό και από άλλους μικροοργανισμούς. Τέλος, δυσάρεστη οσμή και γεύση μπορεί να οφείλεται στο υδρόθειο ιδιαίτερα για τα υπόγεια νερά (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.1.4 Φως

Η ηλιακή ακτινοβολία ελέγχει το μεταβολισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων και παίζει σημαντικό ρόλο στην δυναμική τους. Η ενέργεια αυτή διαμέσου της φωτοσύνθεσης προσδίδει χημική ενέργεια στο οικοσύστημα. Δηλαδή, η φωτοσύνθεση συνθέτει βιομάζα η οποία είτε παράγεται στο υδάτινο σύστημα και ονομάζεται αυτόχθονη, είτε στη χερσαία λεκάνη απορροής και λέγεται αλλόχθονη (Κουσουρή, 1998).

Οι υπεριώδεις ακτίνες εισέρχονται το πολύ μέχρι τα 3 μέτρα βάθος. Λίγο από το φως που επέρχεται στην επιφάνεια μπορεί και να τη διαπεράσει. Ένα μεγάλο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από το νερό ή ανακλάται από την επιφάνεια του νερού και χάνεται, ένα μέρος της διεισδύει πιο βαθιά ή λιγότερο στην υδάτινη μάζα, ενώ ένα ποσοστό της χάνεται λόγω διάχυσης. Το φως εκείνο που διεισδύει βαθύτερα είναι απαραίτητο από τους οργανισμούς που φωτοσυνθέτουν έμμεσα και από τους άλλους οργανισμούς (Barco et al., 1986). Περισσότερο από το 50% της ολικής ηλιακής ενέργειας μπορεί να απορροφηθεί από τα πρώτα μέτρα της υδάτινης στήλης. Το βάθος στο οποίο μπορεί να φτάσει το φως, εξαρτάται από την ποσότητα των διαλυμένων και αιωρούμενων συστατικών. Η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται και διαφοροποιείται με βάση το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Η ηλιακή ροή που φτάνει στις υδάτινες επιφάνειες επηρεάζεται και από τη διάρκεια της ημέρας (Ψιλοβίκος, 2014).

Οι λίμνες μπορούν να χωριστούν κυρίως σε τρεις ζώνες: **α) παράκτια ζώνη, β) λιμναία ζώνη και γ) βενθική ζώνη**. Στη παράκτια ζώνη ή αλλιώς ρηχή ζώνη, βρίσκεται κοντά στις όχθες, εκεί όπου το φως μπορεί να προσεγγίσει τον πυθμένα της λίμνης και εκεί βρίσκονται υδρόβια φυτά με ριζικό σύστημα καθώς και ζωικοί οργανισμοί όπως, υδρόβια έντομα, μαλάκια και καρκινοειδή. Η λιμναία ζώνη είναι εκείνη όπου είναι απομακρυσμένη από τα παράλια επιφανειακά νερά των λιμνών ενώ τέλος η βενθική ζώνη βρίσκεται κάτω από το επίπεδο αντιστάθμισης και τη λιμναία ζώνη όπου το φως φτάνει ελάχιστο ή και καθόλου (Ψιλοβίκος, 2014).

Το φως είναι απαραίτητος παράγοντας, οικολογικής σημασίας για τα φυτά, αλλά και τα ζώα. Η φωτεινή ακτινοβολία συνδέεται απόλυτα με τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς αφού, προκειμένου να είναι δυνατή η φωτοσύνθεση μέσα στον όγκο του νερού, θα πρέπει η απαιτούμενη φωτεινή ενέργεια να είναι το

λιγότερο σε ποσοστό 1% του φωτός που προσπίπτει στην υδάτινη επιφάνεια. Η στήλη του νερού μέσα στην οποία η φωτεινή ενέργεια καθιστά δυνατή τη φωτοσύνθεση, ονομάζεται ευφωτική ή φωτική ζώνη. Όμως υπάρχουν και ακραίες περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η διαδικασία της φωτοσύνθεσης, όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από το ποσοστό του 1% (Wetzel, 1975).

Η διείσδυση του φωτός στο νερό των λιμνών μετριέται με τη βοήθεια του δίσκου του Secchi. Ο δίσκος αυτός προσδιορίζει το βάθος στο οποίο δεν είναι πλέον ορατός ο δίσκος από την επιφάνεια. Άρα, όσο πιο καθαρό είναι το νερό, τόσο πιο μεγάλο είναι και το βάθος του δίσκου Secchi (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.2 Φυσικοχημικές Παράμετροι

2.2.2.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους κυριότερους αβιοτικούς παράγοντες και το κάθε στάδιο του κύκλου ζωής επηρεάζεται από αυτή. Η υψηλή θερμοχωρητικότητα του νερού αποτελεί τη κύρια διαφορά μεταξύ του νερού και άλλων μέσων. Η θερμοκρασία μπορεί να έχει δύο μορφών μεταβολών, τις οριζόντιες μεταβολές καθώς και τις κατακόρυφες μεταβολές όπου οι τελευταίες συναντώνται κυρίως σε λιμναία και θαλάσσια οικοσυστήματα. Με αυτό τον τρόπο η θερμοκρασία προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τη μεταβολική διαδικασία. Ακόμη η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου καθώς και τις υπόλοιπες ουσίες που περιέχονται στο νερό (Ψιλοβίκος, 2014).

Η θερμοκρασία του νερού καθορίζει τόσο τη σύνθεση βιοκοινοτήτων, όσο και τη συμπεριφορά των οργανισμών καθώς και το μέγεθος των πληθυσμών τους. Οι οργανισμοί δραστηριοποιούνται περισσότερο, αναλώνουν περισσότερη τροφή και προσλαμβάνουν περισσότερο οξυγόνο όταν η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται προς το βέλτιστο όριο των θερμοκρασιών για τους διάφορους υδρόβιους οργανισμούς. Επομένως η θερμοκρασία είναι ο περιοριστικός παράγοντας όσον αφορά την ανάπτυξη των υδρόβιων οργανισμών, ενώ για το γενετικό υλικό αυτών, την αλληλεπίδραση με τους άλλους οργανισμούς, το μέγεθος τους, την ηλικία τους, την υγιεινή τους κατάσταση κ.α. γίνεται διαφοροποίηση κάθε φορά και των ορίων βέλτιστης ανάπτυξης τους, καθώς και των ορίων της ανθεκτικότητας τους στις μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (Wetzel, 1983).

Ως θερμική συμπεριφορά των λιμνών ορίζεται η διαδικασία που επιτρέπει ή εμποδίζει τη θερμική στρωμάτωση των υδάτων και επηρεάζεται από τη γεωγραφική θέση της λίμνης, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και το βάθος της. Αυτοί οι παράγοντες επιδρούν, στην εναλλαγή της στρωμάτωσης και της κυκλοφορίας των νερών σε τακτά ή μη διαστήματα. Σε σχετικά βαθιές λίμνες σε εύκρατα γεωγραφικά πλάτη, παρατηρήθηκε ο πλέον ολοκληρωμένος και πολύπλοκος θερμικός κύκλος, όπου σε εκείνες τις περιοχές τη χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία των νερών μπορεί να κατεβαίνει κάτω από τους 4°C, ενώ κατά τη θερινή περίοδο η θερμοκρασία είναι πάνω από 4°C και εκεί στρωματοποιείται η υδάτινη στήλη (Ruttner, 1963).

Ζωνώσεις σε μία λίμνη δημιουργούνται ενώ παρατηρούνται κατακόρυφες διαφορές στο θερμοκρασιακό καθεστώς της και έτσι σχηματίζεται θερμική στρωμάτωση της λίμνης. Σε μία τυπική λίμνη και με βάση τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ενός έτους, καθώς και με βάση την παράμετρο της θερμοκρασίας διακρίνονται οι παρακάτω τρεις ζώνες (Ψιλοβίκος, 2014) :

➤ **Επιλίμνιο:** Είναι το επιφανειακό νερό, το οποίο λαμβάνει την άμεση επίδραση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και εμπεριέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου. Στη διάρκεια των θερμών περιόδων το νερό στο επιλίμνιο είναι πιο θερμό από ότι των άλλων υποκείμενων στρωμάτων. Όμως, την χειμερινή περίοδο, το επιλίμνιο μπορεί να είναι πιο ψυχρό από τα υποκείμενα στρώματα, όπου η θερμοκρασία αυτών δεν θα πέσει κάτω από τους 4°C. Σε θερμοκρασίες κάτω των 4°C, η πυκνότητα του νερού ελαττώνεται, γίνεται πιο ελαφρύ και κινείται προς την επιφάνεια. Έτσι οι μεγάλοι όγκοι νερού του υπολίμνιου δεν μπορούν να παγώσουν διότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας τείνει να είναι ίση με το μηδέν ή και κάτω από αυτό, αλλά μόνο για τα επιφανειακά στρώματα και γι' αυτό το λόγο εξασφαλίζεται η διατήρηση της ζωής στα λιμναία οικοσυστήματα.

➤ **Μεταλίμνιο ή Θερμοκλινές:** Ο λόγος γίνεται για ένα στρώμα νερού που αλλάζει συνεχώς το εποχιακό βάθος και η έντονη θερμική διαβάθμισή του και είναι το στρώμα όπου η θερμοκρασία μειώνεται τόσο, όσο αυξάνεται το βάθος. Το μεταλίμνιο λειτουργεί ως φράγμα μεταξύ του επιφανειακού στρώματος του επιλίμνιου και του βαθύτερου στρώματος του υπολίμνιου και δεν επιτρέπει την μεταφορά των θρεπτικών συστατικών και του οξυγόνου. Σε βαθιές λίμνες στο μεταλίμνιο συνήθως εμφανίζεται το μόνιμο θερμοκλινές, το οποίο βρίσκεται σε άμεση επαφή αμέσως επάνω από το στρώμα του υπολίμνιου σε διαφορά

θερμοκρασιών 1 με 2°C και το εποχιακό θερμοκλινές, το οποίο βρίσκεται αμέσως κάτω από το επιλίμνιο και εκεί μπορούν να παρατηρηθούν και οι μεγαλύτερες μεταβολές της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος, μέχρι και 18 με 22°C.

➤ **Υπολίμνιο:** Τέλος, το κατώτερο, βαρύτερο και το πιο ψυχρό στρώμα της λίμνης, όπου μονίμως η θερμοκρασία του είναι σταθερή είναι το υπολίμνιο. Σε λίμνες με μεγαλύτερο βάθος και σχετικά με το γεωγραφικό πλάτος, τα κλιματικά χαρακτηριστικά και την εποχή του έτους, η θερμοκρασία δεν ανεβαίνει πάνω από τους 4 με 10°C.

Η παραπάνω στρωμάτωση, είναι πιο έντονη σε φυσικές και τεχνητές λίμνες παρά σε ποτάμια και θαλάσσια οικοσυστήματα. Η θερμική κατάταξη των λιμνών που διαχωρίζει τις λίμνες με βάση το καθεστώς της κυκλοφορίας των νερών τους, χωρίς να δίνει ιδιαίτερη προσοχή στη γεωγραφική έννοια, εμφανίζεται παρακάτω (Dussart, 1966):

➤ **Διμικτική:** Είναι η λίμνη εκείνη, όπου κάθε έτος υπάρχουν δύο περίοδοι πλήρους κυκλοφορίας και σχηματίζεται θερινή και χειμερινή θερμική στρωμάτωση (π.χ. Μικρή Πρέσπα κ.α.).

➤ **Θερμή μονομικτική:** Λίμνη με μία πλήρη κυκλοφορία κατά τη διάρκεια του χειμώνα και η θερμοκρασία του νερού της δεν πέφτει ποτέ κάτω από 4°C (π.χ. λίμνη Αμβρακία, Τριχωνίδα, Βόλβη κ.α.).

➤ **Ψυχρή μονομικτική:** Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η επιφάνειά της παγώνει, η λεγόμενη χειμερινή στρωμάτωση και επίσης είναι υπαρκτή μία μόνο περίοδος κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ενώ η θερμοκρασία του νερού της δεν πέφτει ποτέ κάτω από τους 4°C.

➤ **Αμικτικές:** Είναι οι λίμνες όπου μονίμως επικαλύπτονται με πάγο.

➤ **Ολιγομικτικές:** Η θερμοκρασία αυτών πάντα ξεπερνά τους 4°C και σπανίως είναι υπαρκτή περίοδος κυκλοφορίας σε μη τακτά χρονικά διαστήματα .

➤ **Πολυμικτική:** Τέλος, πολυμικτική θεωρείται η λίμνη, όπου μονίμως υπάρχει κυκλοφορία των νερών της και η θερμοκρασία είναι λίγο πιο πάνω από 4°C και υπάρχει ποικιλία βάθους (π.χ. λίμνη Καστοριά, Παμβώτιδα, Κορώνεια κ.α.).

Η παραπάνω κατάταξη κυρίως πραγματοποιείται σε λίμνες με μεγάλα βάθη προκειμένου να μπορεί να σχηματιστεί το υπολίμνιο. Έτσι υπάρχει και ακόμα ένας διαχωρισμός με αποτέλεσμα να μπορούν να υπάρχουν στο διαχωρισμό αυτό τόσο

βαθιές όσο και ρηχές λίμνες. Ο διαχωρισμός αυτός αναπτύσσεται παρακάτω (Κουσουρή, 1998) :

- **Πρώτης τάξης:** Κατά τη θερινή στρωμάτωση η θερμοκρασία του υπολίμνιου είναι είτε ελάχιστη που σχηματίζεται κατά την περίοδο της κυκλοφορίας δηλαδή σε θερμές μονομικτικές λίμνες είτε κοντά στους 4°C δηλαδή σε ψυχρές μονομικτικές λίμνες. Σε αυτές τις λίμνες εξαιτίας του μεγάλου βάθους η εμφάνιση της θερμοκρασιακής κατανομής συνεισφέρει ελάχιστα στην αύξηση του θερμικού περιεχομένου της λίμνης.
- **Δεύτερης τάξης:** Είναι θερμικά στρωματοποιημένες λίμνες όπου η θερμοκρασία των βαθύτερων υδάτινων στρωμάτων είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τους 4°C ή πάνω από την ελάχιστη θερμοκρασία που εμφανίζεται κατά την περίοδο της κυκλοφορίας. Εδώ η θερινή θερμοκρασιακή κατανομή συνεισφέρει στην αύξηση του θερμικού περιεχομένου της λίμνης.
- **Τρίτης τάξης:** Είναι λίμνες που δεν παρουσιάζουν θερμική στρωμάτωση.

2.2.2.1.1.Εποχική Στρωμάτωση

Οι αλλαγές που παρουσιάζονται στη θερμοκρασία ανάλογα με την εποχή έχει ως αποτέλεσμα τα μοντέλα στρωμάτωσης να είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της δυναμικής του διαλυμένου οξυγόνου στις λίμνες. Όταν το νερό αρχίζει να θερμαίνεται την περίοδο της άνοιξης παρουσιάζονται μικρές διαφορές στην πυκνότητα. Το οξυγόνο διανέμεται σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη και το επίπεδο κορεσμού σχεδόν σε πληρότητα. Μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού υπάρχει αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και ταυτόχρονα ανεβαίνει και η θερμοκρασία του νερού. Η αύξηση αυτή οδηγεί στη στρωμάτωση της λίμνης σε δύο σταθερά στρώματα, το επιλίμνιο και το υπολίμνιο τα οποία έχουν μεταξύ τους ελάχιστη διαφορά στη θερμοκρασία αλλά σημαντική διαφορά στην πυκνότητα. Η διαφορά της πυκνότητας εμποδίζει την ανάμειξη των δύο στρωμάτων καθώς και την μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου και θρεπτικών από το επιλίμνιο προς το υπολίμνιο. Η κατακόρυφη πτώση της θερμοκρασίας οδήγησε στη στρωμάτωση της λίμνης στο επιλίμνιο, το υπολίμνιο και ενδιάμεσο στρώμα το μεταλίμνιο ή θερμοκλινές. Στη συνέχεια και μέχρι τα μέσα του φθινοπώρου αν και διατηρείται η στρωμάτωση το επιλίμνιο αρχίζει να ψυχραίνει και να αυξάνεται σε βάθος. Στα μέσα του χειμώνα παρουσιάζονται ελάχιστες διαφορές στο μεταλίμνιο, σε αντίθεση με το επιλίμνιο του οποίου η θερμοκρασία έχει μειωθεί αισθητά (Ψιλοβίκος, 2014). Η φωτοσύνθεση

αποτελεί τη δεύτερη πηγή οξυγόνου η οποία εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του φωτός, το οποίο μειώνεται με το βάθος. Το φως στην εύρωτη ζώνη είναι ανεπαρκές και εμποδίζει τη διαδικασία φωτοσύνθεσης καθώς και την παραγωγή οξυγόνου.

2.2.2.2 Ενεργός οξύτητα (pH)

Η ενεργός οξύτητα του νερού είναι το μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου ή πρωτονίων στο νερό (Ψιλοβίκος, 2014). Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα κάθε φυσικής διεργασίας και λειτουργίας των υδατικών οικοσυστημάτων και σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση άλλων παραμέτρων της ποιότητας του νερού όπως η αλκαλικότητα (Stednick, 1991). Η οξύτητα και η αλκαλικότητα μιας λίμνης μετριέται με το pH. Μια λίμνη χαρακτηρίζεται όξινη αν το pH της είναι από 0 έως 7 και αλκαλική από 7,8 έως 14. Για τιμές από 7 έως 7,8 το pH χαρακτηρίζεται ουδέτερο. Στις περισσότερες λίμνες το pH κυμαίνεται από 6 έως 9. Όταν το pH φτάνει σε τιμές χαμηλότερες του 4 ή 5 τα διάφορα είδη που ζουν σε αυτή αρχίζουν να εξαφανίζονται. Οι τιμές του pH για το νερό, γλυκό και αλμυρό εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως τη θερμοκρασία, τη κυκλοφορία, τη περιεκτικότητα σε οξυγόνο και το βάθος. Οι τιμές του pH ελαττώνονται όσο αυξάνεται το βάθος του νερού εξαιτίας της αύξησης της ποσότητας του CO₂ που διαλύεται στο νερό. Το CO₂ δεσμεύεται απ' το φυτοπλαγκτόν κατά τη φωτοσύνθεση με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωσή του, οδηγώντας σε αύξηση του pH (Ψιλοβίκος, 2014).

Στα υδατικά συστήματα η μείωση του pH επηρεάζεται από τις όξινες αποθέσεις (όξινη βροχή, οξείδιο του θείου και του αζώτου), που προέρχονται από τα καύσιμα των αυτοκινήτων, εργοστασίων κτλ. Η οξίνιση επηρεάζει τα υδατικά συστήματα σε όλα τα επίπεδα και έχει επιπτώσεις τόσο στις κοινότητες των φυτών όσο και των ζώων (Ψιλοβίκος, 2014). Οι τοξικές συνθήκες που δημιουργούνται επηρεάζουν αφενός άμεσα τους υδρόβιους οργανισμούς όσο και έμμεσα εξαιτίας της μείωσης των ειδών τα οποία είναι ευαίσθητα σε όξινες συνθήκες και αποτελούν τροφή για άλλα είδη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της βιοποικιλότητας των υδατικών συστημάτων. Στα υδατικά συστήματα με τιμές pH μικρότερες του 5 δεν συναντιούνται πολλά είδη ψαριών (EEA, The Dobbris Assessment, 2000), τιμές μικρότερες του 4,5 έχουν τη δυνατότητα να βλάψουν τους φυτικούς οργανισμούς είτε άμεσα είτε έμμεσα και τιμές κάτω των 4 προκαλούν θάνατο όλων των σπονδυλωτών, μερικών ασπόνδυλων και πολλών μικροοργανισμών (Γεράκης & Τσιούρης, 1989).

2.2.2.3 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής – Redox ή Eh

Ως δυναμικό οξειδοαναγωγής ορίζεται το μέτρο της συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων στο νερό (Ψιλοβίκος, 2014). Αποτελεί βαρόμετρο για την ποιότητα του νερού. Όσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο στα ύδατα τόσο μειώνονται και οι τιμές του Redox κι έτσι αποτελεί δείκτη για την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων. Είναι η αναλογία ανάμεσα στις οξειδωτικές και αναγωγικές ενώσεις και αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης που δίνει στοιχεία για τις οξειδοαναγωγικές διεργασίες στα ύδατα. Το Redox μετριέται με ένα ηλεκτρόδιο σε μονάδες τάσεις ρεύματος [mV] (Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος, 2010). Όταν έχει θετικές τιμές έχουμε τις αερόβιες συνθήκες και γίνεται οξείδωση με τους αερόβιους οργανισμούς, ενώ στις αρνητικές τιμές έχουμε τις αναερόβιες συνθήκες και γίνονται οι αναγωγικές διεργασίες με τους αναερόβιους οργανισμούς. Τιμές ίσες με το 0 παίρνει η οριακή επιφάνεια που χωρίζει τη ζώνη νερού η οποία έχει O₂, απ' τη ζώνη πλήρους ανοξίας (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.2.4 Σχέσεις pH και Eh

Το pH ορίζεται ως το μέτρο συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου ή πρωτονίων στο νερό, ενώ το μέτρο συγκέντρωσης των ηλεκτρονίων στο νερό ορίζεται ως Redox. Πολλές αντιδράσεις στο νερό εξαρτώνται απ' τις τιμές και των δύο, εφόσον τα ηλεκτρόνια εξουδετερώνουν τα πρωτόνια στο νερό (Ψιλοβίκος & Ψιλοβίκος, 2010). Στα ιζηματογενή περιβάλλοντα και συγκεκριμένα σε έλη ή στάσιμα νερά το pH κυμαίνεται σε τιμές 2 ενώ σε εβαπορίτικες λίμνες 11. Τα όρια του Redox μετριοούνται εύκολα σε ποιοτικές εκτιμήσεις. Σε θετικές τιμές έχουμε οξειδωτικό περιβάλλον ενώ σε αρνητικές τιμές αναγωγικό (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι αριθμητικά η έκφραση της ικανότητας του υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, ιδιότητα που συνδέεται με την ολική συγκέντρωση των ιονισμένων ουσιών και τις σχετικές συγκεντρώσεις τους, την κινητικότητα τους και τη θερμοκρασία του νερού κατά τη στιγμή της μέτρησης τους (Ψιλοβίκος, 2014). Η αύξηση της αγωγιμότητας συνδέεται με την αύξηση των θρεπτικών συστατικών (ευτροφισμός). Στα γλυκά νερά όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η βιολογική τους παραγωγικότητα (Ruttner, 1963). Η αγωγιμότητα εξαρτάται από την παρουσία των ιόντων, το σθένος τους και σχετίζεται με το ποσό των διαλυμένων ιόντων στο νερό, τη σκληρότητα και τις συγκεντρώσεις των χλωριούχων αλάτων (Welch, 1952). Στα φυσικά γλυκά νερά η

αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ σε κάποια βιομηχανικά απόβλητα υπερβαίνει τα 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Βασιλικιώτης & Φυτιανός, 1986). Τα φυσικά νερά είναι διαλύτες ενός μεγάλου ποσοστού αλάτων (περισσότερο ή λιγότερο διασπασμένα σε ιόντα) και η αγωγιμότητά τους αποτελεί τη μέτρηση της ικανότητας διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος, καθορίζοντας την κινητικότητα του συνόλου των ιόντων μέσα στο νερό. Η αύξηση των τιμών της αγωγιμότητας πάνω από κάποιο όριο δίνει το μέτρο της αλατότητας του νερού.

2.2.4 Διαλυμένα αέρια

2.2.4.1 Παράγοντες που επιδρούν στην συγκέντρωση οξυγόνου (ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ)

Η αύξηση της θερμοκρασίας σε ένα υδάτινο σώμα μειώνει το ποσό του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό (Νταρακάς, 2010). Η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται άμεσα απ' το βάθος και την κυκλοφορία και είναι ευαίσθητο σε αλλαγές των φυσικών διεργασιών όπως ανάμειξη και δράση κυμάτων καθώς και των βιολογικών διεργασιών όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Στο χώρο της φωτικής ζώνης των λιμνών υπάρχει περίσσεια οξυγόνου ενώ όσο προχωράμε προς το βάθος το οξυγόνο μειώνεται και ιδιαίτερα στην αφωτική ζώνη και στην ψυχρόσφαιρα, σε κάποιες περιπτώσεις δεν υπάρχει καθόλου οξυγόνο (Ψιλοβίκος, 2014). Κατά τις περιόδους όπου το επίπεδο φωτοσύνθεσης είναι υψηλό, το νερό είναι υπερκορεσμένο σε οξυγόνο ενώ αντίθετα όταν κυριαρχεί η διαδικασία της αποσύνθεσης υπάρχει κατακόρυφη πτώση του οξυγόνου.

2.2.4.1.1 Οξυγόνο Κορεσμού

Με τον όρο οξυγόνου κορεσμού εννοούμε την μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που διαλύεται μέσα στο νερό και εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η βαρομετρική πίεση, το υψόμετρο και η αλατότητα του νερού (Ψιλοβίκος, 2014). Περίσσεια οξυγόνου (υπερκορεσμός) έχουμε σε περιοχές που παρουσιάζουν έντονες φωτοσυνθετικές διεργασίες ενώ μείωση του διαλυμένου οξυγόνου έχουμε με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 46399 (1986), όταν οι τιμές του οξυγόνου κορεσμού κυμαίνονται μεταξύ 80-120% θεωρούνται εξαιρετικές, ενώ μικρότερες από 65% και μεγαλύτερες από 125% θεωρούνται ελλιπείς και επιβλαβείς για τους υδρόβιους οργανισμούς. Τιμές μεγαλύτερες από 75% θεωρούνται αποδεκτές για οικιακή χρήση (WHO, 1996).

2.2.4.1.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Στα νερά των υδατικών συστημάτων το BOD ορίζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την ολοκλήρωση της αερόβιας διάσπασης των οργανικών ουσιών και ενώσεων άνθρακα (CBOD), αζώτου (NBOD) και του θείου, φωσφόρου και άλλων στοιχείων που βρίσκονται στο ίζημα των υδατικών συστημάτων (SOD) (Ψιλοβίκος, 2014). Κατάσταση ευτροφισμού δημιουργείται σε ένα υδάτινο οικοσύστημα όταν διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων και νεκρής οργανικής ύλης σε αυτό. Αποτελεί τον κύριο τρόπο εκτίμησης του βαθμού ρύπανσης του νερού εξαιτίας των αποικοδομήσεων των οργανικών ουσιών. Η παρακάτω αντίδραση δείχνει παραστατικά την οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες:



Η διαδικασία αυτή είναι αργή και πρακτικά ολοκληρώνεται σε 20 μέρες, επομένως το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο ονομάζεται BOD ή BOD α' σταδίου (BOD_L) (Στάμου & Βογιατζής, 1994).

Το COD ορίζεται ως η χημική απαίτηση σε οξυγόνο που περιλαμβάνει την απαιτούμενη ποσότητα για την οξείδωση των οργανικών ουσιών όπως το BOD αλλά και το απαιτούμενο οξυγόνο για τη διάσπαση των βιομηχανικών αποβλήτων.

2.2.4.1.3 Επαναερισμός του νερού των υδατικών συστημάτων

Με τη διαδικασία του επαναερισμού αντιμετωπίζονται οι δυσμενείς επιπτώσεις της μείωσης του οξυγόνου που δημιουργούνται στη φύση από την οξείδωση των οργανικών ουσιών. Έτσι το οξυγόνο όπως και άλλα αέρια της ατμόσφαιρας ανανεώνουν τα αντίστοιχα τους που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό. Όσον αφορά τα ψάρια και γενικά τους υδρόβιους οργανισμούς, υπάρχουν κάποια κριτήρια που τα κάνει να διαφέρουν στην ευαισθησία τους στις χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου (Ψιλοβίκος, 2014):

- Το είδος τους
- Το στάδιο ανάπτυξής τους
- Οι συνθήκες ανάπτυξης τους
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Δύο είναι οι κύριες διαδικασίες που ρυθμίζουν τον επαναερισμό:

- Διαδικασία διάλυσης
- Διαδικασία διάχυσης

Η θερμοκρασία του νερού είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει το διαλυμένο οξυγόνο, δηλαδή οδηγεί σε αύξηση κατά την ψυχρή περίοδο του έτους και σε ελάττωση τη θερμή περίοδο.

2.2.4.1.4 Ισοζύγιο οξυγόνου και ποσοτικές σχέσεις μεταβολής

Οι πηγές εμπλουτισμού του συστήματος σε ένα υδατικό σύστημα και οι απώλειες είναι αυτές που καθορίζουν το ισοζύγιο του οξυγόνου (Αντωνόπουλος, 2010). Οι πηγές αυτές είναι:

- Υδραυλικός επαναερισμός
- Επαναερισμός λόγω ανέμου
- Παραγωγικότητα
- Αποθήκευση

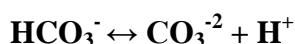
Οι απώλειες στο διαλυμένο οξυγόνο οφείλονται στην οξείδωση του άνθρακα (CBOD), στην οξείδωση του αζώτου (NBOD) και λόγω της απαίτησης σε οξυγόνο από το οργανικό υλικό SOD.

2.2.4.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα και τα όξινα ανθρακικά ιόντα αποτελούν την κυριότερη πηγή άνθρακα για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Η παραγωγή όμως του διοξειδίου του άνθρακα μέσω της αναπνοής και η εισαγωγή διοξειδίου του άνθρακα και όξινων ανθρακικών από την επιφανειακά νερά και την ατμόσφαιρα, εξισορροπούν τη κατανάλωση αυτή (Ψιλοβίκος, 2014). Το σύνολο του περιεχομένου άνθρακα με τις μορφές διοξειδίου του άνθρακα, όξινων ανθρακικών και ανθρακικών ιόντων αποτελεί τον ανόργανο άνθρακα που περιέχεται σε μια υδατοσυλλογή. Σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο γίνεται εκτίμηση της συνολικής ποσότητας του περιεχόμενου ανόργανου άνθρακα με βάση τις μετρήσεις της συνολικής αλκαλικότητας, του pH και της θερμοκρασίας (Κουσουρής, 1998):

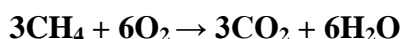
$$C \text{ (mg/l)} = \text{Συνολική Αλκαλικότητα (x) Παράγοντα pH.}$$

Πιο συγκεκριμένα για το διοξείδιο του άνθρακα, είναι αέριο που υπάρχει σε κατάσταση διάλυσης μέσα στο νερό. Μπορεί να προέλθει είτε μέσω της αναπνοής και του μεταβολισμού του οργανικού κόσμου, είτε μέσω της οξείδωσης, δηλαδή της καύσης της οργανικής ύλης. Εν τέλει, το CO₂ θα αντιδράσει με το νερό και θα παραχθεί δικαυβονικό οξύ, το λεγόμενο όξινο ανθρακικό οξύ, το οποίο στη συνέχεια θα διασπαστεί σε ιόντα. Παρακάτω φαίνονται οι προ αναφέρουσες διαδικασίες (Ψιλοβίκος, 2014):



2.2.4.3 Μεθάνιο (CH₄)

Το μεθάνιο είναι οργανική ουσία σε αέρια μορφή, που διαλύεται στο νερό και προέρχεται από τη δράση ορισμένων αναερόβιων βακτηρίων, την αποσύνθεση οργανικών ουσιών μεγαλύτερου μοριακού βάρους μέσα στο νερό και τη διάσπαση των υδρογονανθράκων που υπάρχουν στα στρώματα του πυθμένα ή των πλευρών σε διάφορες υδατικές λεκάνες (Ψιλοβίκος, 2014). Επειδή το μεθάνιο, είτε φεύγει προς την επιφάνεια εφ' όσον υπάρχει η ανάλογη διαπερατότητα και τροφοδοτεί το νερό των λεκανών, είτε φεύγει κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Παρακάτω φαίνεται η αντίδραση σύμφωνα με την οποία το CH₄ στο νερό αντιδρά με το διαλυμένο οξυγόνο και σχηματίζεται CO₂ (Ψιλοβίκος, 2014):



2.2.4.4 Υδρόθειο (H₂S)

Το υδρόθειο (H₂S) παράγεται μέσω των ενώσεων του θείου που διαχέονται μέσα στο νερό, υπό αναγωγικές συνθήκες και κάτω από τη δράση των αναερόβιων θειοβακτηρίων. Ακόμη σε αναγωγικές συνθήκες και κατά τη διάρκεια της ανοργανοποίησης, οι οργανικές ενώσεις του θείου θα μετατραπούν σε H₂S. Σε συνθήκες πλήρους ανοξίας και στο εσωτερικό των νερών μπορούν να ζήσουν τα αναερόβια θειοβακτήρια (Ψιλοβίκος, 2014). Επιπλέον, το H₂S που υπάρχει διαλυμένο μέσα στο νερό, μπορεί να αντιδράσει με άλλα ιόντα (π.χ. σίδηρος) και με αυτό το τρόπο να παραχθούν σιδηροσουλφίδια (π.χ. σιδηροπυρίτης). Σημαντική είναι η παρουσία ενεργούς δράσης των βακτηρίων για όλες αυτές τις αντιδράσεις. Πολλές

φορές το H_2S απελευθερώνεται κατ' ευθείαν στην επιφάνεια και είναι εύκολο να αναγνωριστεί από την έντονη οσμή της ατμόσφαιρας (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.5 Θρεπτικά Στοιχεία

2.2.5.1 Άνθρακας

Υπάρχουν δύο μορφές άνθρακα οι οποίες βασίζονται από πού παράγεται ο άνθρακας σε ποιες λίμνες καθώς και σε ποιες ποσότητες. Έτσι λοιπόν, διακρίνεται ο αυτόχθονος άνθρακας, οποίος εισέρχεται είτε ως διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα είτε χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς οι οποίοι φωτοσυνθέτουν και ο αλλόχθονος άνθρακας, ο οποίος εισέρχεται από αποικοδόμηση των χερσαίων οργανισμών. Η μεγαλύτερη αναλογία του άνθρακα είναι αυτόχθονη όταν οι λίμνες είναι υψηλής παραγωγικότητας, αφού εκεί ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης είναι αρκετά υψηλός, ενώ στις οργανικές λίμνες υψηλότερη είναι η αλλόχθονη αναλογία (Ματζαφλέρη, 2007).

Ο άνθρακας μπορεί να δεσμευτεί στους ζώντες αλλά και στους νεκρούς οργανισμούς ή μπορεί να διαλυθεί στο νερό ως διαλυμένος οργανικός άνθρακας. Ο ολικός διαλυμένος άνθρακας που απαντάται σε μια λίμνη είναι πολύ μεγάλος. Με δεδομένο αυτό, διαπιστώνεται ότι το 90% δεν είναι εύκολα διαθέσιμο στους οργανισμούς και μόλις το 10% είναι άμεσα διαθέσιμο στα βακτήρια. Πρόσφατα το ποσοστό του διαλυμένου οργανικού άνθρακα έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει σαν αποτέλεσμα της φωτοχημικής αποσύνθεσης (Lindell et al., 1995). Έτσι η φωτεινή ενέργεια διασπά τα μεγάλα μόρια άνθρακα ακόμη και τα οργανικά σε μικρότερα μόρια τα οποία μπορούν ευκολότερα να αποικοδομηθούν από τα βακτήρια και τα πρωτόζωα. Το υπεριώδες φως είναι ιδιαίτερα σημαντικό γι' αυτή την αποικοδόμηση. Καθώς ο κύκλος του άνθρακα είναι βασικός για τον μεταβολισμό ολόκληρης της λίμνης, τα αποτελέσματα της παγκόσμιας αύξησης της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να έχουν απρόσμενα αποτελέσματα στα υδάτινα οικοσυστήματα (Ψιλοβίκος, 2014).

Οι πιο γνωστές δεξαμενές άνθρακα στα υδατικά οικοσυστήματα είναι (Ψιλοβίκος, 2014) :

- **Ο διαλυμένος ανόργανος άνθρακας (DIC= Dissolved Inorganic Carbon).**
- **Ο διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC= Dissolved Organic Carbon).**

➤ **Ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας (POC= Particulate Organic Carbon).**

Ο άνθρακας θα εκφραστεί, με την παράμετρο TOC (=Total Organic Carbon). Το TOC βασίζεται στη μέτρηση του CO₂ το οποίο θα παραχθεί κατά την πλήρη οξείδωση του άνθρακα των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία και με την παρουσία καταλύτη (Στάμου και Βογιατζής, 1994).

Τα CO₂, HCO₃⁻ και CO₃²⁻ περιέχονται στη δεξαμενή του ανόργανου άνθρακα. Η αλλαγή κατεύθυνσης των αντιδράσεων ακολουθεί τους κανόνες της ανθρακικής ισορροπίας και έχει έμμεση επιρροή από το pH, την φωτοσύνθεση και την αναπνοή των υδρόβιων οργανισμών (Ψιλοβίκος, 2014). Η φωτοσύνθεση και η αναπνοή είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωσή του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα με τη παρουσία των αλάτων αλκαλικών γαιών μέσα στα φυσικά νερά, θα ενωθεί με αυτά και θα σχηματίσει ανθρακικά και δισανθρακικά άλατα. Όταν το pH του νερού είναι πάνω από 8, τότε το διοξείδιο του άνθρακα γίνεται ανθρακικό οξύ αφού προηγηθεί μία αργή αντίδραση (Κουσουρής, 1998). Όμως όταν το pH είναι μεγαλύτερο από 10, θα υπερισχύσει η αντίδραση στην οποία θα σχηματιστεί το όξινο ανθρακικό ιόν. Το ανθρακικό οξύ είναι ένα ασθενές οξύ το οποίο αφού διίστανται θα σχηματίσει ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα. Σε ποτάμια και λίμνες που περιέχουν υψηλό ποσοστό ανθρακικών ιόντων και το pH είναι πάνω από 7, δημιουργείται αλκαλική συμπεριφορά από τα υδροξυλόνια των παραπάνω αντιδράσεων (Κουσουρής, 1998). Έτσι, όταν αυτά τα νερά περάσουν μέσα από ασβεστολιθικά πετρώματα, θα εμπλουτιστούν σε διοξείδιο του άνθρακα. Στη πορεία, θα παραχθεί ανθρακικό οξύ που θα δράσει διαλυτικά στα πετρώματα αυτά, καθώς και όξινο ανθρακικό ασβέστιο το οποίο είναι ευδιάλυτο στο νερό. Έτσι πραγματοποιηθεί αύξηση στη συγκέντρωση των ιόντων του ασβεστίου και των όξινων ανθρακικών στο νερό, ενώ παράλληλα θα αυξηθεί και το pH εξαιτίας της παραγωγής των υδροξυλόντων. Το υδάτινο περιβάλλον θα αποκτήσει ρυθμιστική ικανότητα από τις παραπάνω ισορροπίες. Άλλωστε, τα υδροξυλόνια τα οποία θα παραχθούν από την αντίδραση των ανθρακικών με το νερό θα εξουδετερώσουν την προσθήκη όξινων νερών στα αλκαλικά νερά που περιέχουν υψηλό ποσοστό όξινων ανθρακικών ιόντων και έτσι το pH δε θα επηρεαστεί, εκτός αν η συνεχή προσθήκη των όξινων νερών εξαντλήσει τα αποθέματα των ανθρακικών και όξινων ανθρακικών ιόντων (Hutchinson, 1967, Cole, 1953). Συμπερασματικά, ένα οξύ θα χρησιμοποιηθεί για τη

μετατροπή των ανθρακικών σε δισανθρακικά και των δισανθρακικών σε ανθρακικό οξύ εφόσον προστεθεί στο νερό. Από την άλλη πλευρά, εάν μια ισχυρή βάση προστεθεί στο νερό, θα αντιδράσει με το ανθρακικό οξύ και έτσι θα σχηματίσει δισανθρακικό άλας και έπειτα ανθρακική ρίζα, η οποία θα χρησιμοποιηθεί από τη βάση. Όλες οι παραπάνω σχέσεις επεξηγούν γιατί η προσθήκη του διοξειδίου του άνθρακα της φωτοσύνθεσης ή η χρησιμοποίησή του από την φωτοσύνθεση, θα επιδράσουν στις απότομες μεταβολές αλκαλικότητας (Cole, 1975). Επιπλέον, το pH θα μειωθεί εάν το θειικό οξύ σχηματίζεται σε αναερόβια νερά από φωτογραφικά και χημειοτροφικά βακτήρια, κατά την οξείδωση του υδρόθειου προς στοιχειώδες θείο και κατόπιν προς θειικό οξύ, αλλά και από τα οργανικά χημικά οξέα που υπάρχουν στο χώμα και θα εισέλθουν σε μια υδατοσυλλογή με τις απορροές (Cole, 1975). Τα φυσικά νερά κατά το πλείστον, εμφανίζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, δηλαδή δε θα επηρεαστεί από τις απότομες μεταβολές του pH.

2.2.5.2 Άζωτο

Το άζωτο αποτελεί δομικό στοιχείο των πρωτεϊνών και γι' αυτό το λόγο θεωρείται ως βασικό στοιχείο της ζωής. Στο φυσικό περιβάλλον μπορεί να βρεθεί με τη μορφή διαφορετικών ενώσεων. Ο κύκλος του αζώτου σχηματίζεται από τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των ενώσεων αυτών. Το άζωτο στη μοριακή του μορφή (N_2) αποτελεί τη πιο διαδεδομένη μορφή του σε υδατικά οικοσυστήματα ενώ γενικότερα αποτελεί το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας, καταλαμβάνοντας το 78% του όγκου της. Αυτή τη μορφή του αζώτου μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν μόνο ένας αριθμός οργανισμών διαμέσου της διαδικασίας δέσμευσης, όπου μετατρέπουν το άζωτο της ατμόσφαιρας, σε μια πιο βιολογικά διαθέσιμη μορφή. Κάποιοι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν το δεσμευμένο άζωτο μέσω της κατανάλωσης οργανισμών που το έχουν δεσμεύσει ή μέσω της αφομοίωσης των προϊόντων τους (Κουσουρή, 1998).

Η ανοργανοποίηση και νιτροποίηση του αζώτου πραγματοποιούνται σε αερόβιες συνθήκες, που όταν όμως μετατραπούν σε αναερόβιες οι αντιδράσεις θα αντιστραφούν και έτσι το δεσμευμένο άζωτο θα μετατραπεί σε αέρια μορφή. Όταν αυτό θα ξανά έρθει στην ατμόσφαιρα τότε ο κύκλος θα συμπληρωθεί (Κουσουρή, 1998).

Συγκεκριμένα για το υδάτινο περιβάλλον, οι πιο διαδεδομένες μορφές του αζώτου είναι η αμμωνία (NH_4), τα νιτρικά (NO_3^{2-}), τα νιτρώδη (NO_2^-), τα οργανικά σύμπλοκα του αζώτου και το αέριο άζωτο. Ο κύκλος του αζώτου στο υδάτινο διαφοροποιείται ως προς τα μεγέθη που το αποτελούν σε σχέση με το εδαφικό περιβάλλον αν και γενικά είναι παρόμοιοι (Κουσουρή, 1998).

Βιολογικές και μη βιολογικές διαδικασίες προκαλούν τους μετασχηματισμούς του αζώτου στο περιβάλλον. Στις πιο σημαντικές μη βιολογικές διαδικασίες διακρίνονται (Κουσουρή, 1998):

- η αεριοποίηση της αμμωνίας και των άλλων αέριων μορφών του αζώτου,
- η καθίζηση των αιωρούμενων μορφών του οργανικού αζώτου και
- η προσρόφηση της αμμωνίας.

Στις βιολογικές διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου κατατάσσονται:

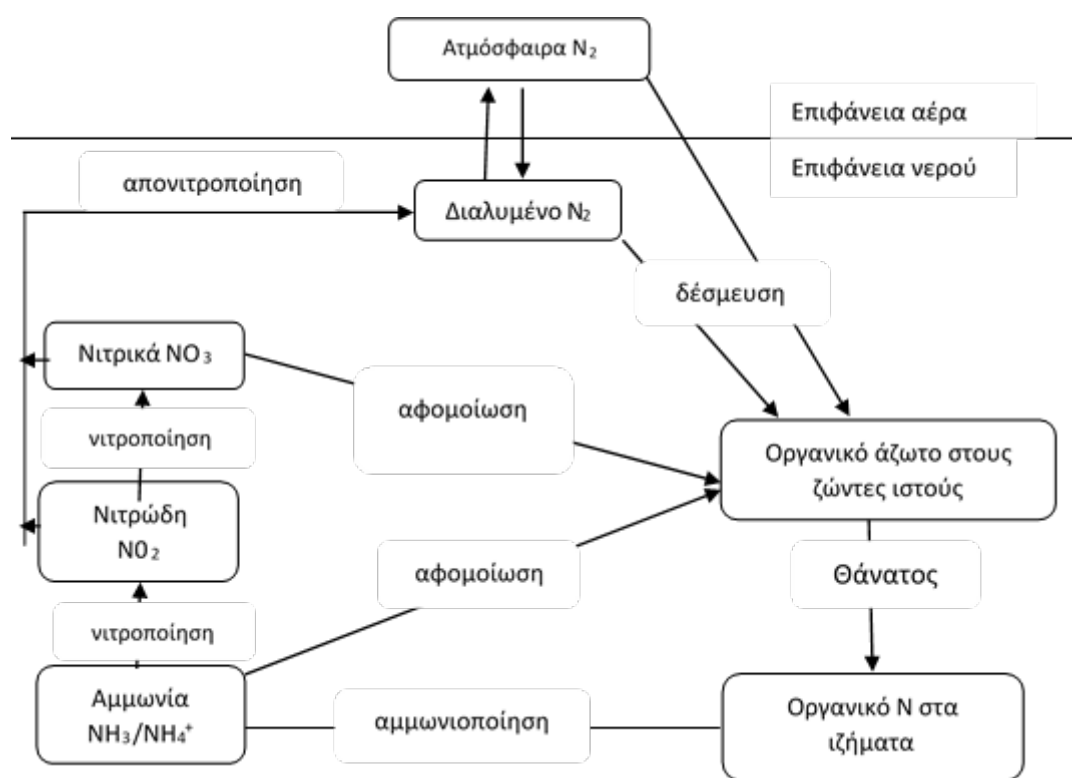
- η δέσμευση του αζώτου (αναγωγική διαδικασία του αερίου αζώτου),
- η μετατροπή του αζώτου σε αμμωνία και οργανικό άζωτο με τους μικροοργανισμούς,
- η αφομοίωση των ανόργανων μορφών του αζώτου (αμμωνίας και νιτρικών) από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς σχηματίζοντας οργανικό άζωτο,
- η ετεροτροφική μετατροπή του οργανικού αζώτου από ένα οργανισμό σε ένα άλλο,
- η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου με παραγωγή αμμωνίας κατά τη διάρκεια της αποικοδόμησης των οργανικών υλικών,
- η νιτροποίηση που είναι η διαδικασία της οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά και
- η απονιτροποίηση με την οποία τα βακτήρια ανάγουν τα νιτρικά σε οξείδια του αζώτου (N_2O) και μοριακό άζωτο (N_2) κάτω από ανοξικές συνθήκες.

Στις πιο οξειδωμένες μορφές του αζώτου διακρίνεται η νιτρική μορφή του αζώτου. Στα υδατικά διαλύματα είναι χημικά ανενεργός. Οι υψηλές συγκεντρώσεις τους στο πόσιμο νερό προκαλούν συνεχή προβλήματα σε πολλές χώρες του κόσμου. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, εκφρασμένες σε άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) διακρίνονται στις παρακάτω περιπτώσεις τιμών (Κουσουρή, 1998):

- $< 0,1$ έως 1 mg/L → μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά, σε ποτάμια και λίμνες

- $> 1 \text{ mg/L}$ → ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά λύματα και απορροή από αστικές και γεωργικές εκτάσεις)
- $< 1 \text{ mg/L}$ → σε λίμνες
- $< 0,1 \text{ mg/L}$ → σε λίμνες κατά τη διάρκεια θερινών μηνών
- $> 0,3 \text{ mg/L}$ → ευνοούν την ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών.

Στα υπόγεια νερά η εικόνα διαφοροποιείται. Τα τυπικά επίπεδα συγκεντρώσεων νιτρικού αζώτου είναι από $0,01 \text{ mg/L}$ μέχρι και πάνω από 20 mg/L που εξαρτώνται από την περιοχή και τις ανθρωπογενείς επιδράσεις.

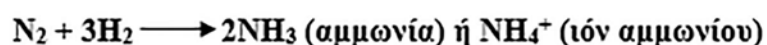


Εικόνα 2.1: Ο κύκλος τους αζώτου στο νερό (Φιλίππου, 2004)

Με τη συμμετοχή οργανισμών, κυρίως βακτηρίων, με παρουσία ή έλλειψη οξυγόνου πραγματοποιείται η μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη και αμμωνιακά η οποία προαπαιτεί μία σειρά βιοχημικών αντιδράσεων (Σίνης, 2005). Οι κυριότερες διαδικασίες μετασχηματισμού του αζώτου στα διάφορα στάδια του κύκλου του είναι (Αντωνόπουλος, 2010):

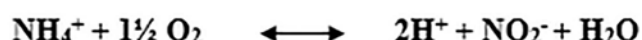
- **Δέσμευση του αζώτου της ατμόσφαιρας**

Μια διαδικασία με την οποία κάποιοι οργανισμοί μπορούν να μετατρέψουν το άζωτο της ατμόσφαιρας (N_2) σε αμμωνία (NH_3), από την οποία στη πορεία μπορούν να παραχθούν αμινοξέα. Η αμμωνία μπορεί να μετατραπεί σε υδροξυλικό αμμώνιο όταν παρατηρηθούν υψηλά επίπεδα pH,



➤ Νιτροποίηση

Μία διαδικασία που πραγματοποιείται σε συνθήκες παρουσίας οξυγόνου. Κατά τη διαδικασία αυτή γίνονται οι παρακάτω δύο αντιδράσεις:



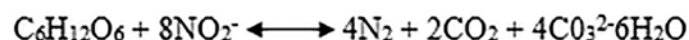
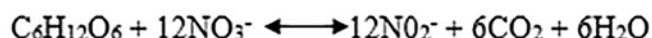
όπου βάση αυτών των αντιδράσεων, τα αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+) μετατρέπονται σε νιτρικά (NO_3^-) διαμέσου των νιτρωδών ιόντων (NO_2^-) και με τη συμβολή των νιτροποιητικών βακτηρίων *nitrosomonas* στη πρώτη και στη δεύτερη των *nitrobacter* (Κουσουρή, 1998).

➤ Αφομοίωση

Η πρόσληψη του αζώτου από το φυτοπλαγκτόν έμμεσα συσχετίζεται σε διαφορετικό βαθμό με τη φωτοσύνθεση. Ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η αφομοίωση του αζώτου στα υδατικά οικοσυστήματα είναι εξαρτώμενος από τις συγκεντρώσεις του αμμωνιακού και νιτρικού αζώτου (Κουσουρή, 1998).

➤ Απονιτροποίηση

Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα σε συνθήκες αναερόβιες που υπάρχουν συνήθως στα βαθιά νερά, στα ιζήματα, στα βαριά εδάφη και τα έλη και αποτελεί αναγωγική διεργασία. Η αναγωγική λοιπόν αυτή αντίδραση της απονιτροποίησης πραγματοποιείται σε δύο στάδια (Hutchinson, 1957):



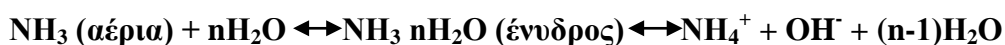
όπου, η πρώτη αντίδραση είναι το πρώτο στάδιο αναγωγής των νιτρικών προς νιτρώδη και η δεύτερη αντίδραση είναι η αναγωγή των νιτρωδών προς μοριακό άζωτο.

➤ Αμμωνιοποίηση- ανοργανοποίηση

Διαδικασία κατά την οποία τα ετερότροφα βακτήρια αποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις των οργανισμών που πεθαίνουν, τις οποίες στη πορεία μετατρέπουν σε ανόργανες. Τα αμινοξέα θα ξανά μετατραπούν σε αμμωνιακό άζωτο, το οποίο οι αυτότροφοι οργανισμοί θα χρησιμοποιήσουν για να επανασυνθέσουν. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε συνθήκες με αρκετό οξυγόνο, όπου μαζί με τη παρουσία του άνθρακα, αυτό θα μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα (Κουσουρής, 1998).

➤ Διαφυγή της αέριας αμμωνίας στην ατμόσφαιρα

Μία διαδικασία που εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση της αμμωνίας στο νερό. Με τη μορφή του κατιόντος (NH_4^+) και με τη μη ιονισμένη μορφή (NH_3) εντοπίζεται το αμμωνιακό άζωτο στα υδάτινα συστήματα, σε κατάσταση ισορροπίας σύμφωνα με την αντίδραση (U.S.EPA, 1976):



Οι δύο μορφές στο υδάτινο διάλυμα, όσο αφορά την αναλογία τους, είναι εξαρτώμενες κυρίως από τη τιμή του pH ενώ από τη τιμή της θερμοκρασίας του μέσου εξαρτώνται λιγότερο και επίσης έχει ιδιαίτερη οικολογική σπουδαιότητα (Hutchinson, 1975).

2.2.5.3 Φωσφόρος

Ο φώσφορος είναι λιγότερο άφθονος και πιο συχνά αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα της πρωτογενούς παραγωγής, δηλαδή μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη των φυτών και έχει να κάνει με τον ευτροφισμό των νερών. Σήμερα, η παραγωγικότητα σε ένα οικοσύστημα καθορίζεται από την ίδια τη συγκέντρωση του φωσφόρου και θεωρείται ότι η ανάπτυξη των φυτών ρυθμίζεται από τη σχετική αφθονία όλων των θρεπτικών αλάτων. Στα νερά ο φώσφορος βρίσκεται πιο συχνά με τη μορφή των ορθοφωσφορικών ιόντων που σε πάνω από το 90% του ποσοστού

εντοπίζεται ως οργανοφωσφορικά συστατικά των οργανισμών προσροφημένα σε ανόργανα σωματίδια, όπως και σε νεκρή σωματιδιακή οργανική ύλη (Cole, 1983).

Η ύπαρξη του φωσφόρου είναι σημαντική για τη ζωή διότι απαρτίζει το δομικό συστατικό των βιολογικών μακρομορίων. Ο ρόλος του φωσφόρου στο μεταβολισμό των οργανισμών είναι πολύ σημαντικός και αυτό συνεπάγεται ότι έχει μεγάλη οικολογική σημασία ανεξαρτήτως της μικρής διαθεσιμότητάς του στα νερά. Ο ολικός φώσφορος που περιλαμβάνει και το φώσφορο που βρίσκεται σε σωματιδιακή μορφή, αλλά και το διαλυμένο φώσφορο σε φυσικά συστήματα αποτελεί τη πλέον αντιπροσωπευτική μορφή του φωσφόρου, ενώ για τη μέτρησή του χρησιμοποιείται μη φιλτραρισμένο νερό (Wetzel, 1983).

Οι συγκεντρώσεις του ολικού φωσφόρου υπολογίζονται λιγότερο από 1 $\mu\text{g/l}$ σε φυσικά καθαρά νερά, ενώ σε κλειστές αλμυρές λίμνες ξεπερνούν τα 200000 $\mu\text{g/l}$. Αυτές οι διαφορές στις συγκεντρώσεις είναι αποτέλεσμα της γεωλογίας της περιοχής και των δραστηριοτήτων της λεκάνης απορροής, ενώ η ποσότητα του αυξάνεται συνήθως με την παραγωγικότητα μιας λίμνης (Vollenweider, 1968). Με χημικό διαχωρισμό πραγματοποιείται η μέτρηση του συνολικού ανόργανου και οργανικού φωσφόρου και έτσι διαπιστώνεται μέσω αυτού ότι μόλις το 70% περίπου συναντάται συνήθως σε οργανική μορφή. Στα φυσικά νερά το ποσοστό του ανόργανου φωσφόρου με τη μορφή των ορθοφωσφορικών ιόντων συναντάται σε ποσοστό μικρότερο από 5% (Cole, 1983).

Το τροφικό επίπεδο μιας λίμνης καθορίζει τη κατανομή του ολικού φωσφόρου σε συνάρτηση με το βάθος. Γι' αυτό λοιπόν σε oligotrophic διμικτικές λίμνες με ορθόκλινη καμπύλη οξυγόνου παρατηρείται μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση του φωσφόρου κατά τη στρωμάτωση των νερών. Σε λίμνες όμως όπου η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ελαττώνεται σε σχέση με το βάθος, συνήθως παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση από διαλυτό φώσφορο στο κατώτερο τμήμα του υπολιμνίου, κατά τις τελευταίες φάσεις της θερμικής στρωμάτωσης, ενώ ανάλογα με την αφθονία και τους πληθυσμούς του πλαγκτού καθορίζεται ο σωματιδιακός στο επιλίμνιο (Hutchinson, 1968, Cole, 1963).

Η ανάπτυξη των πρωτογενών παραγωγών στα εσωτερικά νερά μπορεί να περιοριστεί από τη συγκέντρωση του φωσφόρου. Με τη μέτρηση της συγκέντρωσης του φωσφόρου γίνεται αντιληπτό εάν μια λίμνη είναι oligotrophic ή eutrophic.

2.2.6 Τοξικές ουσίες

Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι οι κύριοι φορείς τοξικών ουσιών (φυσικών και συνθετικών) ενώ σε δεύτερη μοίρα βρίσκονται τα οικιακά και γεωργικά απόβλητα. Στις τοξικές φυσικές και συνθετικές ουσίες συμπεριλαμβάνονται ορισμένα βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), ο υδράργυρος (Hg), το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το κάδμιο (Cd), τα φυτοφάρμακα, τα εντομοκτόνα. Η τοξικότητα των ουσιών είναι ανάλογη της συγκέντρωσης τους και εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στον υδάτινο αποδέκτη (Ψιλοβίκος, 2014). Οι τοξικές αυτές ουσίες έχουν μικρούς ρυθμούς διάσπασης, αφομοιώνονται και βιοσυσσωρεύονται στους οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας.

2.2.7 Ραδιενεργές Ουσίες

Τα ραδιενεργά απόβλητα απελευθερώνουν ενέργεια η οποία μπορεί να απαντά σε μία απ' τις ακόλουθες μορφές (Μήτρακας, 2001):

- **ακτινοβολία άλφα**
- **ακτινοβολία βήτα**
- **ακτινοβολία γάμα**

Γίνεται αυστηρός έλεγχος των ραδιενεργών αποβλήτων. Όσο αυξάνεται η χρήση των ραδιενεργών ουσιών στη βιομηχανία και έρευνα, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα ρύπανσης των υδατικών συστημάτων. Όσο περνάει ο χρόνος υπάρχει μείωση της ακτινοβολίας ραδιενέργειας και τα απόβλητα με εξασθενημένη ακτινοβολία αποθηκεύονται για λίγο καιρό για να συνεχιστεί η διάσπασή τους και έπειτα γίνεται η διοχέτευση στους αποδέκτες. Αρκετά ραδιενεργά υλικά χρειάζονται αρκετό χρόνο για να διασπαστούν και ο χρόνος ημιπεριόδου ζωής ,διαρκεί αρκετές εκατοντάδες χρόνια. Όταν συμβαίνει αυτό η επεξεργασία γίνεται με:

- **χημική καταβύθιση**
- **ιοντοανταλλαγή**
- **προσρόφηση**
- **εξάτμιση για τη συμπύκνωση των ουσιών**

Τα συμπυκνωμένα υψηλού επιπέδου ακτινοβολίας απόβλητα σταθεροποιούνται σε τσιμεντένια ή κεραμικά δέματα και ενταφιάζονται στο έδαφος (Αντωνόπουλος, 2010). Η ραδιοχρονολόγηση των υλικών αποτελεί μια σημαντική εφαρμογή των

ιδιοτήτων των ραδιενεργών ουσιών που βρίσκονται θαμμένα σε διάφορα βάθη σε αποθέσεις ποταμών ή δέλτα, στο έδαφος ή στον πυθμένα λιμνών και προσδιορίζει την ηλικία των αντικειμένων αυτών.

2.2.8 Θερμική Ρύπανση

Όταν σε ένα υδατικό σύστημα διοχετεύεται νερό με διαφορετική θερμοκρασία απ' αυτή που συνήθως απαντάται στο νερό προκαλείται το φαινόμενο της θερμικής ρύπανσης. Ο όρος ρύπανση αφορά συγκεκριμένα τη θερμοκρασία και όχι απαραίτητα οποιαδήποτε άλλη παράμετρο της ποιότητας του νερού. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει είτε από δραστηριότητες ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε από εκροή νερού χαμηλότερης θερμοκρασίας, στη ροή ποταμών κατάντη μεγάλων φραγμάτων, που λειτουργούν ως υδροηλεκτρικά έργα. Τα θερμά ή ψυχρά νερά των δραστηριοτήτων αυτών αποτελούν βασικό αίτιο της θερμικής ρύπανσης, καθώς και του στρεσαρίσματος των υδρόβιων οργανισμών αλλά και της διαταραχής του τροφικού πλέγματος (Ψιλοβίκος, 2014).

2.2.9 Δείκτες ποιότητας νερού

Η περιεκτικότητα σε πολυσθενή κατιόντα (σκληρότητα), τα διαλυμένα στερεά (TDS), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECw), η ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH), καθώς και η καταλληλότητα για άρδευση (SAR= Sodium Adsorption Ratio) αποτελούν δείκτες που αφορούν άμεσα τη ποιότητα νερού.

2.2.10 Βιολογικές Παράμετροι

Στις Βιολογικές παραμέτρους περιλαμβάνονται (Ψιλοβίκος, 2014):

- Φυτοπλαγκτόν
- Μακρόφυτα και φυτοβένθος
- Ζωοπλαγκτόν
- Υδρόβια έντομα
- Αμφίβια
- Ιχθυοπανίδα
- Βιολογικές διεργασίες και μικροοργανισμοί

2.2.10.1 Φυτοπλαγκτόν

Το φυτοπλαγκτόν εμπεριέχει όλους τους φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς δηλαδή τους προκαρυωτικούς (κυανοβακτήρια) και τους ευκαρυωτικούς οι οποίοι

μπορούν να ζουν αιωρούμενοι σε επιφανειακά ύδατα λιμνών, ποταμών και ωκεανών (Grahametal., 2011). Ο διαχωρισμός μεταξύ φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού δεν είναι ξεκάθαρος διότι υπάρχουν οργανισμοί που κάποιες φορές τρέφονται ως φυτά και άλλες ως ζώα (Μουστάκα-Γούνη, 1997). Παρόλο που οι οργανισμοί του φυτοπλαγκτού είναι μονοκύτταροι δεν κατατάσσονται ως απλοί οργανισμοί. Τα Κυανοφύκη, Χλωροφύκη, Διάτομα, Δινομαστιγωτά, Απτόφυτα, Χρυσοφύκη και Κρυπτοφύκη αποτελούν τις πλουσιότερες σε είδη ομάδες του φυτοπλαγκτού (Ψιλοβίκος, 2014). Παρακάτω δίνεται πίνακας που περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση του φυτοπλαγκτού ανάλογα με το μέγεθος των οργανισμών.

Πίνακας 2.1: Κατηγοριοποίησης του φυτοπλαγκτού ανάλογα με το μέγεθος των οργανισμών (Ψιλοβίκος, 2014).

Φυτοπλαγκτόν	Μέγεθος
Πίκο-φυτοπλαγκτόν	0,2- 2 μm
Νάνο- φυτοπλαγκτόν	2- 20 μm
Μίκρο- φυτοπλαγκτόν	20- 200 μm
Μέσο- φυτοπλαγκτόν	0,2- 2 mm
Μάκρο- φυτοπλαγκτόν	2-20 mm

2.2.10.2 Ιχθυοπανίδα

Η ομαδοποίηση και υπαγωγή της ιχθυοπανίδας σε τρεχούμενα νερά, υδατορεύματα, χειμάρρους και ποτάμια, διακρίνεται σε τρεις βιοτικούς τύπους με συμβατικές ονομασίες που χαρακτηρίζονται από τα είδη των ψαριών που υπάρχουν σε αυτούς, οι Α, Β και C (Οικονόμου κ.α., 2007). Έτσι στον τύπο Α χαρακτηριστικό είδος είναι η πέστροφα (Τύπος Α: Πέστροφας), στον τύπο Β χαρακτηριστικά είδη είναι η πέστροφα και η μπριάνα (Τύπος Β: Πέστροφας-Μπριάνας) και στον τύπο C χαρακτηριστικά είδη είναι τα ορεινά κυπρινοειδή (Τύπος C: Ορεινών Κυπρινοειδών). Στην ιχθυοπανίδα της λίμνης εμπεριέχονται πολλά είδη ψαριών. Από αυτά ως αυτόχθονα είδη θεωρούνται ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), η μπριάνα (*Barbus meridionalis*), ο γουλιανός (*Silurus glanis*), η μουρμουρίτσα (*Rhodeus sericeus amarus*), ο κουνοποφάγος (*Gambusia affinis*) κ.α. (Θωμαΐδου,

2009). Πιο αναλυτικά και όσο αφορά τους τύπους που προαναφέρθηκαν διακρίνονται (Ψιλοβίκος, 2014):

- **Τύπος Α:** Τύπος ποταμών κοντά σε πηγές με μεγάλη κλίση, μικρό πλάτος και χαμηλή θερμοκρασία με μικρό βάθος ροής και ταχεία υποκρίσιμη και έντονα τυρβώδη ροή με τα χονδρόκοκκα υλικά να κυριαρχούν. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι πολύ υψηλή και σε κάποιες περιπτώσεις αγγίζει τις τιμές του οξυγόνου κορεσμού. Ζουν ρεόφιλα και ψυχρόφιλα είδη ως επί το πλείστο, όπως είναι και η πέστροφα η οποία είναι και το χαρακτηριστικό είδος του τύπου αυτού Α.
- **Τύπος Β:** Τύπος που συναντάται σε μεγάλα ρεύματα και ποταμούς με ταχεία ροή μικρότερη του προηγούμενου τύπου με πιο ήπιες κλίσεις από τον τύπο Α. Παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερη οξυγόνωση κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Επίσης, χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα υλικά και κάποιες φορές υδρόβια βλάστηση, καλύπτουν το υπόστρωμα του τύπου αυτού. Τέλος, φαινόμενα διάβρωσης και απόθεσης συναντώνται στις όχθες και κάποιες φορές παρατηρείται πλούσια βλάστηση από υδροχαρή φυτά.
- **Τύπος C:** Τύπος με νερά πιο ήρεμης ροής που χαρακτηρίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις και στάσιμα. Επίσης, χαρακτηρίζεται με πιο ήπιες κλίσεις και έτσι με μεγαλύτερα βάθη ροής που μπορούν να αγγίζουν τα 2,5 m. Σε σύγκριση με τους προηγούμενους τύπους παρατηρείται υψηλότερη θερμοκρασία και ο πυθμένας εμπεριέχει λεπτόκοκκα υλικά αποθέσεων (άμμος, ιλύς και μικρές κροκάλες). Τέλος τα νερά είναι θολά με πλούσια βλάστηση.

2.2.10.3 Βιολογικές διεργασίες και μικροοργανισμοί

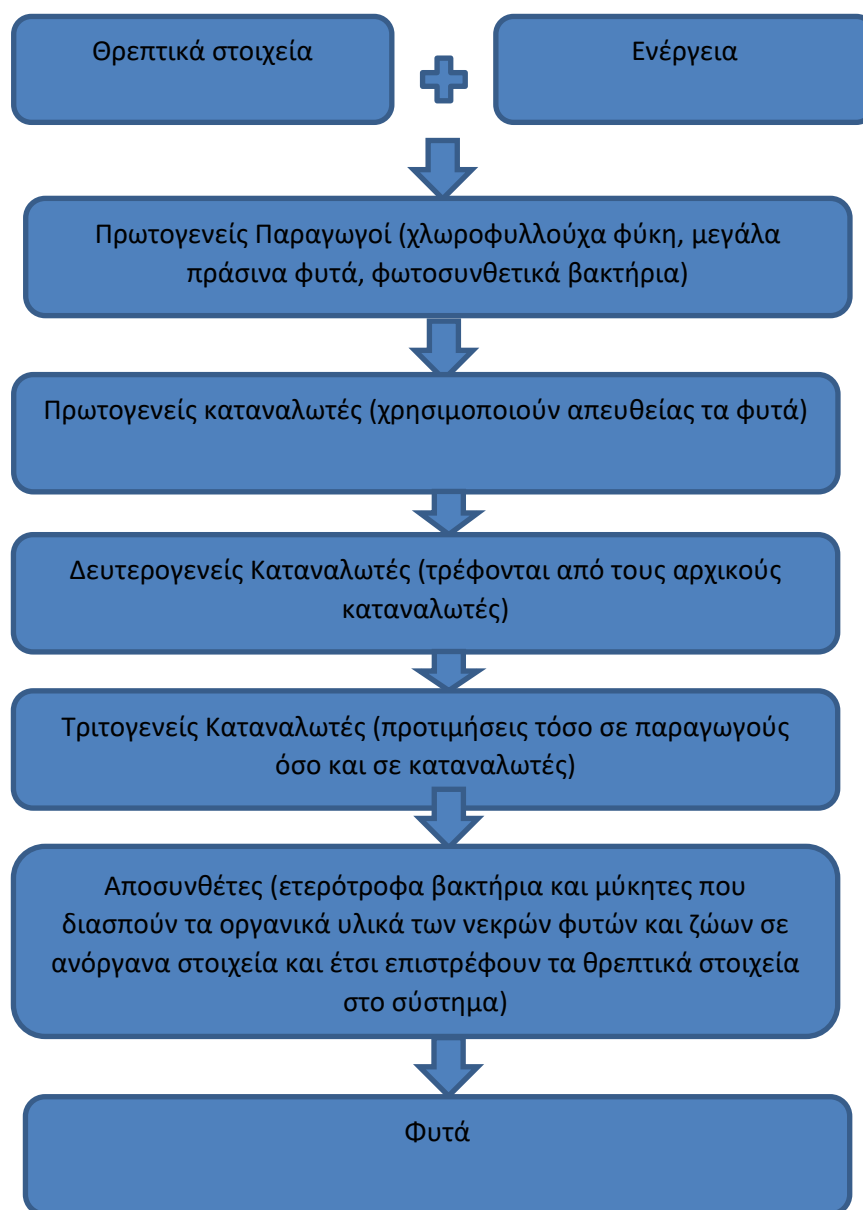
Τα οικιακά λύματα αποτελούν βασικό αίτιο της βιοχημικής αστάθειας της οργανικής ύλης, η οποία συνδέεται με τις παρακάτω διαδικασίες (Αντωνόπουλος, 2010):

- Αυτοκαθαρισμός των υδατικών συστημάτων
- Μεταβολή της ποιότητας των υδατικών συστημάτων
- Φάσεις ανάπτυξης και φθοράς των υδρόβιων οργανισμών

Η απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για όλες τις δραστηριότητες του οργανισμού καθώς και για την επισκευή ή την αντικατάσταση των νεκρών κυττάρων εξασφαλίζεται απ' την ενέργεια που λαμβάνεται μέσω της τροφής. Τα υποπροϊόντα

που αποβάλλονται απ' τον μεταβολισμό περιέχουν υψηλά επίπεδα ενέργειας και χρησιμοποιούνται από οργανισμούς άλλου είδους, όπως βακτήρια και μύκητες. Οι οργανισμοί αυτοί ζουν με τα υπολείμματα των ανωτέρων τάξεων μέχρι να σταθεροποιηθεί το υλικό που απομένει. Η διαδικασία που καταλήγει στη σταθεροποίηση ονομάζεται βιολογική διάσπαση και επιτυγχάνεται με τη δράση βιολογικών διαλυτών. Κατά τη διαδικασία αυτή μειώνεται η ενέργεια στα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας.

Σε ένα υδατικό σύστημα ο τροφικός κύκλος συμβαδίζει με τον ενεργειακό κύκλο και η αλυσίδα έχει την ακόλουθη σειρά (Ψιλοβίκος, 2014):



Εικόνα 2.2: Τροφικός και ενεργειακός κύκλος σε ένα υδατικό σύστημα

Σε όλα τα υδατικά συστήματα οι βιολογικοί παράγοντες είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία και την διάσπαση των οργανικών και θρεπτικών ουσιών. Η διάσπαση της οργανικής ουσίας γίνεται με δύο τρόπους:

- **αερόβια διάσπαση**
- **αναερόβια διάσπαση**

Στην αερόβια διάσπαση, οι αερόβιοι οργανισμοί διασπούν την οργανική ουσία και για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία πρέπει η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο υδρόβιο περιβάλλον να είναι ικανοποιητική. Στην αναερόβια, η διάσπαση γίνεται από ομάδες μικροβίων που αποτελούν τους αναερόβιους οργανισμούς και τόσο τα αρχικά όσο και τα ενδιάμεσα προϊόντα είναι οξειδώσιμα, ενώ τα περισσότερα είναι επιβλαβή με δυσάρεστη οσμή. Οι μικροοργανισμοί ανάλογα με τον τρόπο που λαμβάνουν τον άνθρακα διαχωρίζονται σε αυτότροφους και ετερότροφους. Οι αυτότροφοι μικροοργανισμοί μέσω της χημειοσύνθεσης παίρνουν τον άνθρακα σε μορφή CO₂, ενώ οι ετερότροφοι μέσω οξείδωσης ή ζύμωσης σε μορφή οργανικών ενώσεων (Ψιλοβίκος, 2014).

Οι ποσότητες τροφής και η ροή ενέργειας σε ένα σύστημα ευθύνονται για τη διατήρηση των κοινωνιών των οργανισμών σε αυτό. Στα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας ο ρόλος κάθε οργανισμού δείχνει τη σημασία του μεταβολισμού. Στα υδατικά συστήματα κυρίως οι κοινωνίες των βακτηρίων μεταβολίζουν τις οργανικές ουσίες μέχρι να γίνουν σταθεροποιημένα προϊόντα. Η ανάπτυξη των βακτηρίων γίνεται σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις (Ψιλοβίκος, 2014):

- **Φάση προσαρμογής**
- **Φάση λογαριθμικής ανάπτυξης**
- **Φάση σταθεροποίησης**
- **Φάση λογαριθμικού θανάτου**

Οι βασικοί παράγοντες που οδηγούν στη μείωση των βακτηρίων είναι (Ψιλοβίκος, 2014) :

- **η καθίζηση**
- **τα πρωτόζωα**

- ο εφοδιασμός σε τροφές
- η θερμοκρασία του νερού
- το ηλιακό φως
- οι βακτηριοφάγοι ιοί
- τα βιοχημικά απόβλητα

Στη δημόσια υγεία υπάρχουν κάποιες κατηγορίες μικροοργανισμών που δημιουργούν σημαντικό πρόβλημα (Αντωνόπουλος, 2010). Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- Οι δείκτες βακτήρια
- Τα παθογόνα βακτήρια
- Οι μύκητες
- Τα παθογόνα πρωτόζωα

3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟ 2000/60/ΕΚ

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ αποτελεί μία ολιστική και καινοτόμο προσπάθεια για την προστασία και την διαχείριση των Υδατικών Πόρων η οποία προέκυψε έπειτα από μία μακροχρόνια περίοδο συζητήσεων και διαπραγματεύσεων μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (Ε.Κ.) (Ανδρεαδάκης, 2002).

Ολιστική θεώρηση των περιβαλλοντικών συστημάτων ονομάζεται η μετάβαση από το μοντέλο της τεχνολογικής ανάπτυξης στην αντίληψη της αειφορίας και υλοποιείται με την ενεργό κοινωνική συμμετοχή στη διαμόρφωση και λήψη αποφάσεων, την έγκαιρη επέμβαση, την προσέγγιση του οικοσυστήματος και την πολιτική της πρόληψης. Η Οδηγία δημιουργεί ένα πλαίσιο το οποίο προστατεύει όλα τα υδάτινα σώματα, (επιφανειακά, μεταβατικά, παράκτια και υπόγεια) έτσι ώστε:

- Να γίνεται προώθηση της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων, μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των υδατικών πόρων.
- Η υποβάθμιση των υδάτων να αποτρέπεται και οι υδατικοί πόροι να προστατεύονται και να βελτιώνονται.
- Το υδάτινο περιβάλλον να βελτιώνεται μέσω εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων για να υπάρξει σταδιακή μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας και την εξάλειψη της απόρριψης τοξικών ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας.
- Να εξασφαλίζεται η βαθμιαία μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω ρύπανση τους.
- Να υποβοηθείται η αντιμετώπιση των επιπτώσεων ακραίων φαινομένων πλημμυρών και ξηρασίας (Ανδρεαδάκης, Α., 2002).

Η Οδηγία είχε ως στόχο την επίτευξη καλής ποιότητας υδάτων για όλα τα υδάτινα σώματα έως το 2015, βασισμένη σε τιμές αναφοράς που δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμα. Οι τιμές αυτές θα είναι καθορισμένες και θα προβλέπονται από μελλοντικές Νομοθεσίες οι οποίες θα είναι προσαρμοσμένες στις επιταγές του 2000/60. Το χρονοδιάγραμμα για την επίτευξη του τελικού στόχου, το οποίο πρέπει

να υλοποιηθεί από τα Κράτη Μέλη (ΚΜ), επιμερίζεται με αναφορά σε ενδιάμεσα στάδια ως εξής:

- Οι επιμέρους λεκάνες απορροής σε κάθε ΚΜ ένταξή τους προσδιορίζονται σε Υδατικές Περιφέρειες και καθορίζονται οι αρμόδιοι Φορείς Διαχείρισής τους. Χρονικός ορίζοντας 2003 (Άρθρα 3 και 24).
- Προσδιορίζεται η κάθε Υδατική Περιφέρεια των πιέσεων, των επιπτώσεων και των οικονομικών παραμέτρων που έχουν άμεση σχέση με τη χρήση των υδάτων, καθώς επίσης γίνεται καταγραφή των προστατευόμενων περιοχών. Χρονικός ορίζοντας 2004 (Άρθρα 5 και 6, Παραρτήματα II και III).
- Θέση σε λειτουργία Προγραμμάτων Παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων. Χρονικός ορίζοντας 2006 (Άρθρο 8).
- Εφόσον έχουν ληφθεί υπόψη τα αποτελέσματα των Προγραμμάτων Παρακολούθησης και τις αναλύσεις των Χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής, τα ΚΜ είναι υποχρεωμένα να εντοπίσουν τα μέτρα που είναι απαραίτητα για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που θέτει η Οδηγία, με οικονομικά αποτελεσματικό τρόπο. Χρονικός ορίζοντας 2009 (Άρθρο 11, Παράρτημα III).
- Σύνταξη και δημοσιοποίηση Προγραμμάτων Διαχείρισης για κάθε Υδατική Περιφέρεια, στα οποία είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί και ο τελικός προσδιορισμός των ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδάτινων σωμάτων. Χρονικός ορίζοντας 2009 (Άρθρα 13 και 4.3).
- Η τιμολογιακή πολιτική των υδάτων τίθεται σε εφαρμογή, η οποία υποβοηθά την βιωσιμότητα των υδατικών πόρων. Χρονικός ορίζοντας 2010 (Άρθρο 9).
- Θέση σε λειτουργία των Προγραμμάτων Διαχείρισης. Χρονικός ορίζοντας 2012 (Άρθρο 11).
- Τα Προγράμματα Διαχείρισης και επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων τίθενται σε πλήρη εφαρμογή. Χρονικός ορίζοντας 2015 (Άρθρο 4).

Οι πιθανές δυσκολίες που αποτρέπουν την υλοποίηση του βασικού στόχου της Οδηγίας θα πρέπει να θεμελιώνονται στα Προγράμματα Διαχείρισης των Υδατικών Περιφερειών και σε αυτές τις περιπτώσεις αναθέτει στα ΚΜ να υλοποιήσουν τα μέτρα και να συμμορφωθούν σε μεταγενέστερους, εξαετούς διάρκειας, κύκλους σχεδιασμού και εφαρμογής των προγραμμάτων (Ανδρεαδάκης, 2002).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Περιοχή Μελέτης 1: Λίμνη Καστοριάς (ΠΜ1)

Η λίμνη της Καστοριάς έχει μορφή περίπου νεφροειδή, με μεγάλο άξονα διεύθυνσης από το Βορρά προς το Νότο, μήκους 7 km και μικρό άξονα διεύθυνσης από την Ανατολή προς τη Δύση, μήκους 5,5 Km. Η συνολική της έκταση είναι 27,9 Km² και μέσο βάθος νερού 4,40 m και μέγιστο βάθος 9,10 m και συνολικό όγκο νερού της τάξεως των 110 x 106 m³. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς είναι 267,5 km² (Τολίκας, 2000). Η λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς οριοθετείται όπως διαφαίνεται στον Πίνακα 4.1. Ακόμα η λίμνη της Καστοριάς είναι χαρακτηρισμένη ως Ειδική Ζώνη Διατήρησης με κωδικό “GR 1320001” και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας με κωδικό “GR 1320003” (<http> 2).



Εικόνα 4.1: Προσανατολισμός Λίμνης Καστοριάς (πηγή: Σχέδιο διαχείρισης Λίμνης Καστοριάς).

Πίνακας 4.1: Οριοθέτηση της λίμνης της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς (<http> 2).

Βόρεια	Από το όρος Βέρνο με ψηλότερη κορυφή το Βίτσι, που είναι και το ψηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής της λίμνης και τα υψώματα Σπυριδάκη, Κορυφή Σικαβίτσας και Αγία Παρασκευή
Ανατολικά	Από τα υψώματα Φαλακρόν, Κρόνος, Δούκας, Μαυροβούνι, Στενά Κλεισούρας και Πύργος
Νότια	Από τα υψώματα Πετρώδες, Μικρό Βουνό και Κορησός
Δυτικά	Από τα υψώματα Κορυφή, Αγία Τριάς, Καζάνι και Περτσέλη

Ακόμα, η επιφάνεια της λεκάνης απορροής υποδιαιρείται σε 11 υπολεκάνες απορροής από τις οποίες οι εννέα υπολεκάνες αφορούν βασικά υδατορέματα, μία αφορά την υπολεκάνη της πόλης της Καστοριάς, της οποίας οι απορροές εισέρχονται στη λίμνη μέσω των αγωγών αποχέτευσης όμβριων και τέλος μία αφορά την υπολεκάνη της περιοχής Αμπελοκήπων που βρίσκεται νοτιοδυτικά της λεκάνης της Καστοριάς, της οποίας τα επιφανειακά ύδατα οδηγούνται στο Ρέμα Γκιόλε και καταλήγουν στον Αλιάκμονα, ενώ τα υπόγεια συμβάλλουν στη λίμνη (<http>1). Στον Πίνακα 4.2 αναπαρίστανται οι 11 υπολεκάνες με τις εκτάσεις που καταλαμβάνουν η κάθε μία και τα ρέματα που περιλαμβάνουν (Τολίκας, 2000). Όλα τα παρακάτω ρέματα τροφοδοτούν τη λίμνη της Καστοριάς η οποία εκφορτίζεται από την Διώρυγα της Καστοριάς, το �έμα Γκιόλε, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα της λίμνης και τα νερά της καταλήγουν στον Αλιάκμονα (<http> 2).

Πίνακας 4.2: Ρέματα και υπολεκάνες της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς (Τολίκας, 2000).

Περιοχή ή υπολεκάνη	Έκταση (σε km²)
Φουντουκλή	4,19
Απόσκεπου	8,30

Βυσσινιάς	48,46
Αγ Αθανασίου	2,14
Τοιχιού	23,25
Μεταμόρφωσης	12,28
Φωτεινής	9,87
Ξηροποτάμου	113,44
Ίστακου	9,46
Καστοριάς –Δισπηλιού	12,64
Αμπελοκήπων	23,47
Σύνολο έκτασης	267,50
Έκταση λίμνης Καστοριάς	27,90

Οι κινήσεις των υδάτων στη λίμνη της Καστοριάς ποικίλουν. Μία από αυτές είναι η γενική βραδεία μόνιμη ροή από το άνω τμήμα της λίμνης, στο οποίο εισρέουν νερά, προς το κάτω τμήμα, όπου αυτά εκρέουν στη θέση Γκιόλε. Επιπλέον, ροές που οφείλονται στους πνέοντες ανέμους και δευτερευόντως στη μεταβολή της πυκνότητας των νερών λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της λίμνης και τέλος, ροές στο υπολίμνιο, που σχηματίζονται κατά τις πλημμυρικές παροχές των χειμαρρικών ρεμάτων (Τσόμπος, 2011).

Η λίμνη της Καστοριάς, είναι μια πολυμικτική λίμνη, με κύρια χαρακτηριστικά τον υψηλό χρόνο παραμονής του νερού (μεγαλύτερος από 2 έτη), σε περιόδους μη ελεγχόμενης απομάκρυνσής του (Κουσουρή, 1998).

Οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς απεικονίζονται στο πίνακα 4.3. Έτσι ανά υπολεκάνη απορροής οι χρήσεις γης είναι (http 2):

Πίνακας 4.3: Σχέδιο διαχείρισης για τη Περιοχή Προστασίας της Φύσης της Λίμνης Καστοριάς (http 2).

Όνομα	Οικισμοί	Γεωργική	Βοσκότοποι	Λασική Έκταση	Συνολική
-------	----------	----------	------------	---------------	----------

	(km ²)	Χρήση (km ²)	(km ²)	(km ²)	έκταση (km ²)
Τοιχίο	0,30	4,34	11,08	7,38	23,25
Μεταμόρφωση	0,15	2,42	5,65	3,76	12,28
Φωτεινή	0,15	1,83	3,93	2,62	9,87
Ιστάκος	0,10	3,67	1,07	0,72	9,46
Ξηροπόταμος	1,80	35,66	45,05	30,04	113,44
Τάφος Αγ. Αθανασίου	0,00	2,11	0,00	0,00	2,14
Φουντουκλής	1,10	0,1	1,8	1,23	4,19
Καστοριά-Δισπηλιό	2,35	1,3	4,64	3,22	12,64
Αμπελοκήπων	0,25	13,24	2,27	1,51	23,47
Βυσσινιάς	0,60	3,41	26,51	17,67	48,46
Απόσκεπος	0,30	0,30	3,85	2,57	8,30
Σύνολο	7,10	69,33	105,85	70,72	267,50

Όσο αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδατικών πόρων και με βάση τα αποτελέσματα παλαιότερων μελετών (Στάμος και Ματθαίοπουλος 2002; Στάμος 2002, Στάμος 2004), οι υδατικοί πόροι του καρστικού συστήματος χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, χωρίς να παρουσιάζουν ποιοτική υποβάθμιση. Επιπλέον, σχετικά με τη ποιότητα του νερού του προσχωματικού υδροφορέα, μετρήσεις από παλαιότερες μελέτες (Βαφειάδης, 1983; Γιαννέλη, 2009; Στάμος και Ματθαίοπουλος, 2002) δείχνουν αρκετά καλή ποιότητα νερού με περιορισμένες όμως εκδηλώσεις υποβάθμισης λόγω αγροτικών δραστηριοτήτων.



Εικόνα 4.2: Προσανατολισμός Λεκάνης Απορροής Λίμνης Καστοριάς (πηγή: Σχέδιο διαχείρισης Λίμνης Καστοριάς).

4.2 Περιοχή Μελέτης 2: Λίμνη Κερκίνης (ΠΜ2)

Η λίμνη Κερκίνη είναι ένας τεχνητός ταμιευτήρας αποθήκευσης νερού που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του Νομού Σερρών (απέχει 40 km από τις Σέρρες). Οι γεωγραφικές τις συντεταγμένες στο κέντρο είναι 23° 08' ΑΓΜ και 41° 12' ΒΓΠ. Έχει ως κορυφή το θυρόφραγμα Λιθοτόπου με μήκος κεντρικού άξονα 15 km και το μέγιστο πλάτος της όταν φτάνει πλήρης νερού 8,5 km. Η έκταση της ποικίλλει από 54.250 έως 72.110 στρέμματα. Η λίμνη τροφοδοτείται από τον ποταμό Στρυμόνα που ξεκινάει από την Βουλγαρία και εκβάλλει στη λίμνη, στη βόρεια άκρη της. Από την είσοδο του ποταμού στην Ελλάδα και μέχρι την είσοδο του στη λίμνη Κερκίνη σχηματίζει κοίτη ροής συνολικού μήκους 24 km. Από την Κερκίνη διέρχονται $2,6 \cdot 10^9$ m³ νερού ανά έτος, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό ανανεώνεται 13 φορές το χρόνο (Ταταράκης 1994). Η στάθμη, η έκταση και η χωρητικότητα της

Κερκίνης μεταβάλλονται εποχιακά μεταξύ ελάχιστων τιμών +31,80 m και 51,5 km² και 90 * 10⁶ m³ αντίστοιχα και μεταξύ μέγιστων τιμών +36,5 m 74,7 km² και 411*10⁶ m³ αντίστοιχα (Αλμπανάκης, 1995; Ψιλοβίκος, 2014).



Εικόνα 4.2.1: Η λίμνη Κερκίνη

Η Λίμνη Κερκίνη κατασκευάστηκε το 1932 με την δημιουργία ενός φράγματος κοντά στο χωριό Λιθότοπο, στη θέση της παλιάς λίμνης Μπούτκοβο, με σκοπό την προστασία από τις πλημμυρικές παροχές που προκαλούνταν από τον ποταμό Στρυμόνα. Με την πάροδο του χρόνου όμως λόγω των φερτών υλικών που μετέφερε ο Στρυμόνας η χωρητικότητα της λίμνης μειώθηκε. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση ξεκίνησαν κάποια έργα για την ανύψωση των αναχωμάτων και την κατασκευή ψηλότερου φράγματος (Μπίρτσας, 2002). Το 1984 πραγματοποιήθηκε η ολοκλήρωση των έργων ανακατασκευής του ταμιευτήρα που συμπεριλάμβανε την ανύψωση των αναχωμάτων κατά 6 μέτρα έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα της λίμνης σε νερό. Μετά την ολοκλήρωση των έργων του νέου φράγματος (1984) και σε

περίοδο 7 ετών (1991) ο Στρυμόνας μετέφερε και απόθεσε 6.777.000 m³ υλικών, που αντιστοιχεί σε ρυθμό πρόσχωσης 968.000 m³/έτος (Ψιλοβίκος, 2014).

Η λίμνη Κερκίνη καθώς και η ευρύτερη της περιοχή αποτελεί έναν από τους 11 υγροτόπους της Ελλάδας που προστατεύονται απ' τη συνθήκη Ramsar που υπογράφηκε το 1971 στο Ιράν και κυρώθηκε από την Ελλάδα με τον Ν.Δ. 191/1974. Με υπουργική απόφαση το 1993 (Αριθμός 66272/25-6-93) έγινε οριοθέτηση των ζωνών προστασίας του υγροτόπου της λίμνης Κερκίνης και της ευρύτερης περιοχής και καθορίστηκαν τα μέτρα προστασίας της κάθε ζώνης. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνεται στο Δίκτυο "NATURA 2000" σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 92/43/EEC (Dafis et al., 1996).

Το κλίμα της περιοχής είναι μεταβατικού τύπου, ενδιάμεσο μεταξύ μεσογειακού και ηπειρωτικού, με ζεστά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες. Η θερμομετρική διαφορά μεταξύ των εποχών ξεπερνά τους 20°C και η θερμότερη περίοδος (Μάιος-Ιούνιος) συμπίπτει με την ξηρότερη. Το ύψος της βροχής κατά τη διάρκεια του έτους είναι μικρό από 300 έως 500 mm. Το μέσο ύψος βροχής κοντά στην Κερκίνη φτάνει τα 463,5 mm. Οι βροχοπτώσεις πάνω από τη λίμνη είναι συνήθως ραγδαίες και σύντομες. Το φαινόμενο της πάχνης είναι ένα από τα σημαντικότερα μετεωρολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την περιοχή και είναι συχνά από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο (Αριανούτσου και συν., 1984). Η λίμνη δεν δέχεται την επίδραση των ισχυρών βόρειων ανέμων επειδή προφυλάσσεται από την οροσειρά Μπέλλες. Τα χιόνια και το λιώσιμο τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην υδρολογία της περιοχής εφόσον καθορίζουν τις παροχές των χειμάρρων και του Στρυμόνα. Φέρουν επίσης μεγάλη ευθύνη και για τις ανοιξιάτικες πλημμύρες της λίμνης.

Το νερό της λίμνης ανανεώνεται κατά μέσο όρο 13,63 φορές το χρόνο, με χρόνο παραμονής του μέσα στη λίμνη 26,4 μέρες (Ψιλοβίκος και συν., 1994). Υπάρχουν τρεις περίοδοι λειτουργίας του ταμιευτήρα όπου η συχνότητα ανανέωσης του νερού είναι διαφορετική. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά η συχνότητα και ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη.

Πίνακας 4.4: Συχνότητα και χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη Κερκίνη.

Μήνες	Συχνότητα παραμονής νερού στη λίμνη (φορές)	Χρόνος παραμονής νερού στη λίμνη (μέρες)
Νοέμβριος-Ιανουάριος	7,22	12,5
Φεβρουάριος-Ιούνιος	4,46	33,3
Ιούλιος-Οκτώβριος	1,95	61,5

Επομένως την περίοδο του χειμώνα η λίμνη λειτουργεί ως ποτάμιο-πλημμυρικό σύστημα, την άνοιξη ως ενδιάμεσο μεικτό σύστημα ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες και το φθινόπωρο ως λιμναίο σύστημα.

Η στάθμη του νερού της λίμνης είναι στα χαμηλότερα της επίπεδα κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών, αυξάνει σιγά σιγά από τον Ιανουάριο, πιο γρήγορα τον Μάρτιο και φτάνει στο μέγιστο ύψος της στα μέσα Μαΐου (πάνω από 5 μέτρα μεταβολή) οπότε, εξαιτίας της άρδευσης της πεδιάδας τους μήνες του καλοκαιριού, πέφτει μέχρι τον Σεπτέμβριο. Η αλλαγή της φυσιογνωμίας όλης της λίμνης και κυρίως του υγροτόπου της ήταν αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής της στάθμης (Πυροβέτση, 1995). Η απότομη αλλαγή στάθμης του νερού πολλές φορές προκαλεί προβλήματα στο οικοσύστημα της λίμνης (Ψιλοβίκος, 1994).

Το νερό της λίμνης ελέγχεται μέσω του φράγματος που υπάρχει στην περιοχή του Λιθοτόπου. Το υψηλότερο επίπεδο της στάθμης του νερού διαφέρει μόλις 5 μέτρα απ' το κατώτερο. Την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού το βάθος του ταμιευτήρα κυμαίνεται από 5 έως 10 μέτρα. Υπάρχει νερό όλη τη διάρκεια του έτους στη λίμνη. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται κάποια στοιχεία της λίμνης τα οποία σύμφωνα με τον Φορέα Διαχείρισης της Λίμνης Κερκίνης αποτελούν τα απαιτούμενα όρια ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν τόσο οι απαιτήσεις άρδευσης όσο και η περιβαλλοντική ακεραιότητα του οικοσυστήματος που συντηρεί η λίμνη.

Πίνακας 4.5: Ανώτερο και κατώτερο επιτρεπτό όριο στάθμης της λίμνης. Ο συνολικός όγκος της λίμνης για τα όρια αυτά. (Πηγή: Φορέας Διαχείρισης Λίμνης Κερκίνης)

Στοιχεία της λίμνης	Υψόμετρο στάθμης (m)	Συνολικός όγκος (m ³)
Κατώτερη χειμερινή στάθμη	32	102,21*10 ⁶

Ανώτερη στάθμη άρδευσης	35,7	343,59*10 ⁶
Κατώτερη στάθμη άρδευσης	31,7	86,67*10 ⁶

Το νερό της λίμνης είναι θολό και πολύ αλκαλικό στην επιφάνεια (pH=9) και ουδέτερο στο βυθό (pH=7,5). Λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ζωοπλαγκτού και φυτοπλαγκτού την περίοδο του καλοκαιριού, η λίμνη θεωρείται ευτροφική. Τα φαινόμενα αυτά εμφανίζονται μόνο όταν το επίπεδο του νερού είναι χαμηλό, οι θύρες του ρουφράκτη μένουν κλειστές και η ροή του ποταμού Στρυμόνα είναι ελάχιστη (Πέτρου, 1995).

Στην περιοχή της λίμνης Κερκίνης υπάρχει μία εντυπωσιακά πλούσια βιοποικιλότητα. Σύμφωνα με τον Ναζιρήδη (1995), είναι σημαντική η παρουσία των φυτικών ειδών στη λίμνη με πιο εντυπωσιακή την παρουσία στο βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης των νούφαρων *nymphaea alba* (περίπου 3000 στρέμματα το 1991, περίπου 500 στρέμματα το 1995). Η ιχθυοπανίδα της λίμνης και της ευρύτερης περιοχής θεωρείται πλούσια, και έχουν καταγραφεί 27 είδη ψαριών. Όσον αφορά την ορνιθοπανίδα της λίμνης και των γύρω βουνών, υπάρχουν τουλάχιστον 300 είδη πουλιών, πολλά από τα οποία είναι σπάνια (Σταμούλης, 2008).

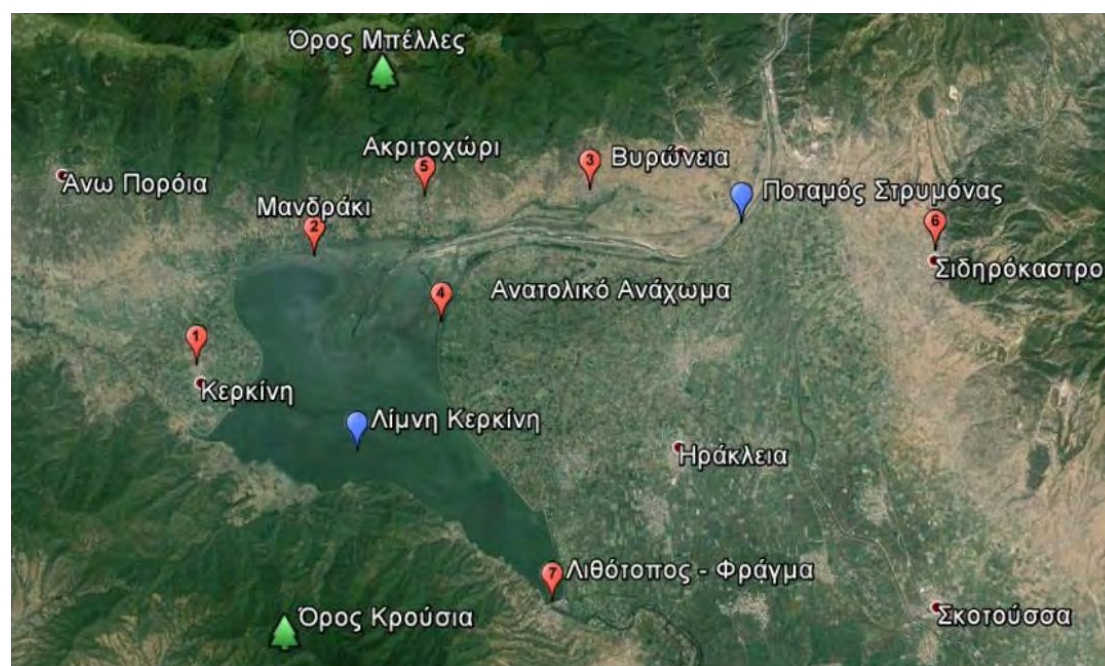
Τα γεωργικά απόβλητα που προέρχονται τόσο από την Ελλάδα όσο και από τη Βουλγαρία καταλήγουν στο Στρυμόνα και στην Κερκίνη με αποτέλεσμα να υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων τους. Στην περιοχή γύρω από τη λίμνη δεν συναντάται βιομηχανική δραστηριότητα, η παρουσία όμως κάποιων μικρών μονάδων, όπως σφαγεία και βιοτεχνίες δερμάτων, προκαλούν ρύπανση του ποταμού Στρυμόνα με τα απόβλητά τους και έμμεσα και της λίμνης Κερκίνης. Επιπλέον, έχουν εντοπιστεί αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων, που δείχνουν την επίδραση της γεωργικής δραστηριότητας στην περιοχή της λίμνης και δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού.

Κύριο χαρακτηριστικό του Νομού Σερρών είναι η εύφορη πεδιάδα του όπου εκβάλλουν πολλοί χείμαρροι και την εμπλουτίζουν με φερτά υλικά. Η ευρύτερη περιοχή αποτελεί μια γεωργική περιοχή που αποτελεί καταλυτικό παράγοντα για την διαμόρφωση του γεωργοκτηνοτροφικού εισοδήματος. Οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται αυτό είναι η μεγάλη έκταση καλλιεργήσιμης γης, η γονιμότητα των εδαφών

καθώς και στα επιφανειακά ύδατα που καταλαμβάνουν 170.000 στρέμματα. Η διάρθρωση των χρήσεων γης αναλύεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.6: Κατανομή χρήσεων γης στο Ν. Σερρών (ΕΣΥΕ Απογραφή 2001).

Χρήσεις γης	Έκταση (στρέμματα)	Ποσοστό (%)
Γεωργική γη	1,696,800	42,76
Βοσκότοποι	1,040,800	26,21
Δάση	822,100	20,72
Νερά	118,000	2,98
Οικισμοί	128,000	3,23
Άλλες εκτάσεις (Άγονες/Δρυμοί)	162,500	4,10
Σύνολο	3,967,700	100



Εικόνα 4.3: Προσανατολισμός Λεκάνης Απορροής Λίμνης Κερκίνης ([http 3](http://3)).

Στην παρούσα προπτυχιακή διατριβή απώτερος σκοπός είναι η σύγκριση συγκεκριμένων οργανοληπτικών, φυσικοχημικών και βιολογικών ποιοτικών παραμέτρων δύο λιμνών καθώς επίσης και της κατάστασης ευτροφισμού δύο ρηχών

λιμνών, μιας φυσικής (Λίμνη Καστοριάς) και μιας τεχνητής (Λίμνη Κερκίνης). Για το σκοπό αυτό, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν διάφορες παράμετροι ποιότητας και τέλος αποτιμήθηκαν συγκριτικά για τις δύο λίμνες. Για την ΠΜ1 και για την ΠΜ2 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα οργανοληπτικών ποιοτικών παραμέτρων: Θολότητα (NTU), βάθος του δίσκου Secchi (m), φυσικοχημικών παραμέτρων: Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), Ενεργός οξύτητα, Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l), Φωσφόρος ($\mu\text{g}/\text{l}$), τις ποσοτικές σχέσεις των μορφών του αζώτου του τύπου Νιτρώδες Άζωτο ($\mu\text{g}/\text{l}$) και Νιτρικό Άζωτο (mg/l) και βιολογικών παραμέτρων: Χλωροφύλλη-α ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για όλες τις παραπάνω παραμέτρους με διαφορετικό εύρος χρονολογιών για τις δύο λίμνες. Πιο αναλυτικά για την ΠΜ1 χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις *in situ* και *monitoring*. Συγκεκριμένα για τις *in situ* μετρήσεις υπήρξαν μηνιαία δεδομένα πέντε σταθμών (Σιούτισσα, Ξηροπόταμος, Μαυριώτισσα, Βόρεια Παραλία και Νότια Παραλία-Σταυρός) από το έτος 2005 έως το 2014. Για τις τιμές του βάθους του δίσκου Secchi, της Ενεργού οξύτητας, της Χλωροφύλλης-α και για τιμές Νιτρικού και Νιτρώδους Αζώτου επιλέχθηκε μόνο ένας σταθμός από τους παραπάνω (Σταυρός) για τη δημιουργία των αντίστοιχων χρονοσειρών. Επιπλέον έγινε υπολογισμός του μέσου όρου των πέντε σταθμών για τα έτη 2006 έως 2014 και δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για τις τιμές του βάθους του δίσκου Secchi, της Χλωροφύλλης-α και της Ενεργού οξύτητας. Επίσης δημιουργήθηκαν χρονοσειρές οι οποίες βασίστηκαν σε μηνιαίες *in situ* μετρήσεις του βάθους του δίσκου Secchi, της Χλωροφύλλης-α και του Ολικού Φωσφόρου οι οποίες στηρίχθηκαν σε εργασία των Καγκάλου & Ψιλοβίκου (2011). Όσον αφορά τις *monitoring* μετρήσεις επεξεργάστηκαν ημερήσια δεδομένα του Διαλυμένου Οξυγόνου, της Ενεργού οξύτητας, της Θερμοκρασίας, της Θολότητας, της Αγωγιμότητας και της Χλωροφύλλης-α από τον σταθμό Σταυρό για τα έτη 2016 και 2017 (Τμήμα Περιβάλλοντος – Υδροοικονομίας της Περιφερειακής Ενότητας Καστοριάς) και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες χρονοσειρές.

Για την περίπτωση της ΠΜ2 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα *in situ* και *monitoring* από έναν μόνο σταθμό (Κέντρο). Πιο αναλυτικά για τις *in situ* μετρήσεις επεξεργάστηκαν μηνιαία δεδομένα (Φορέας Διαχείρισης Λίμνης Κερκίνης) για τις τιμές Ολικού Φωσφόρου, Νιτρώδους και Νιτρικού Αζώτου για τα έτη 2011 έως 2016 και δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες χρονοσειρές. Για τις *monitoring* μετρήσεις

χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα απ' το έτος 2013 έως 2015 τα οποία επεξεργάστηκαν για να υπολογιστεί ο ημερήσιος μέσος όρος έτσι ώστε να δημιουργηθούν ημερήσιες μετρήσεις και στη συνέχεια οι χρονοσειρές των τιμών του Διαλυμένου Οξυγόνου, της Ενεργού οξύτητας, της Θερμοκρασίας, της Θολότητας και της Αγωγιμότητας.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση της φυσικής λίμνης ΠΜ1 με την τεχνητή λίμνη ΠΜ2. Για τη σύγκριση αυτή υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη Carlson για τις τιμές του βάθους του δίσκου Secchi, της Χλωροφύλλης-α και του Ολικού Φωσφόρου (Πίνακας 4.1). Για τον υπολογισμό των τιμών των δεικτών έγινε χρήση των παρακάτω σχέσεων:

$$TSI (SD) = 60 - 14,41 \cdot \ln(SD) \quad (4.1)$$

$$TSI (TP) = 14,42 \cdot \ln(TP) + 4,15 \quad (4.2)$$

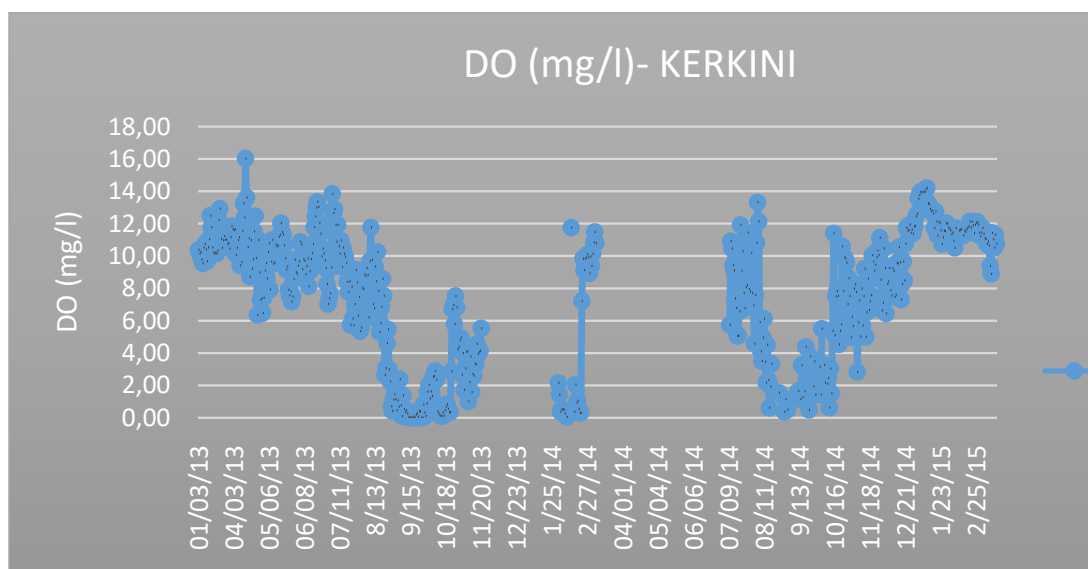
$$TSI (CHL-a) = 9,81 \cdot \ln(CHL-a) + 30,6 \quad (4.3)$$

Τέλος, δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τους μέσους όρους του κάθε μήνα όλων των χρόνων για τις δύο λίμνες, ο οποίος δείχνει την τροφική κατάσταση των δύο λιμνών (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 4.1. Οι τιμές του δείκτη Carlson, σε αντιστοιχία με τις τιμές SD, TP και Chl-a και τη τροφική κατάσταση (Carlson & Simpson, 1996).

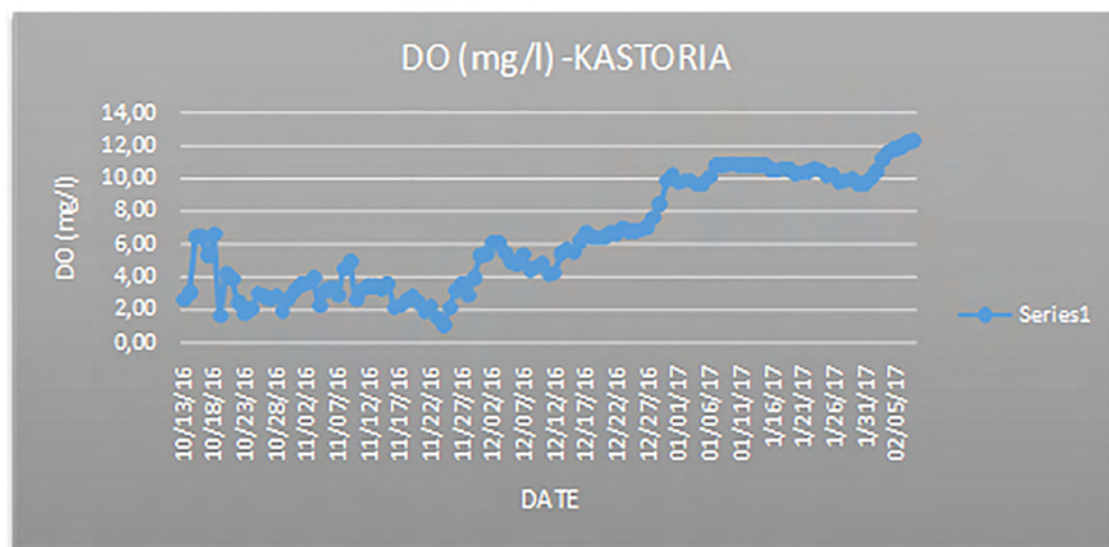
TSI	Chl-a (μg/l)	TP (μg/l)	SD(m)	Τροφική κατάσταση
<30-40	0-2,6	0-12	>8-4	Ολιγοτροφική
40-50	2,6-20	12-24	4-2	Μεσοτροφική
50-70	20-56	24-96	2-0,5	Ευτροφική
70-100+	56-155+	96-384+	0,5-0,25	Υπερευτροφική

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ



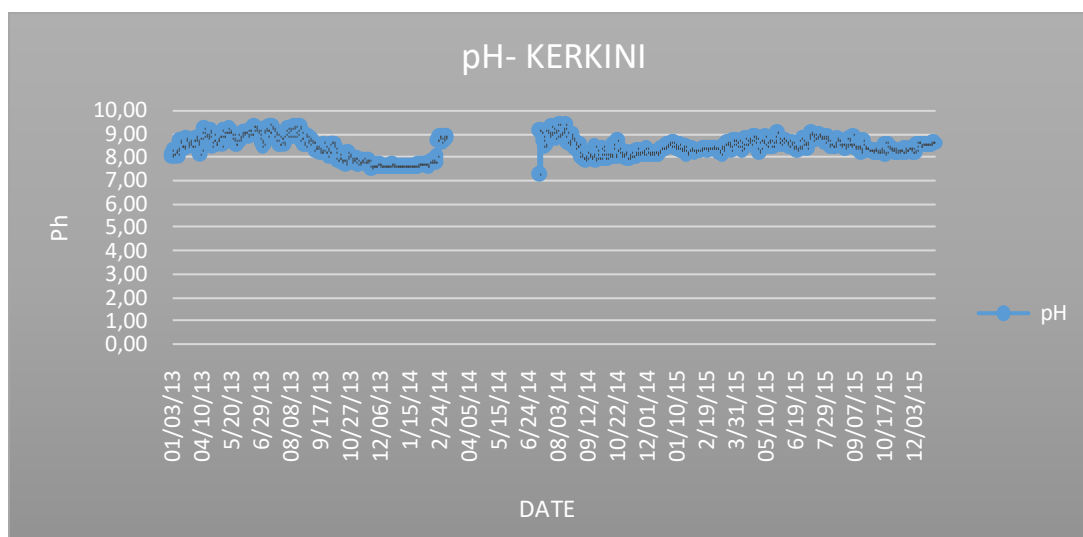
Διάγραμμα 5.1: Χρονική διακύμανση Διαλυμένου Οξυγόνου (DO mg/l) στη λίμνη Κερκίνη.

Στο διάγραμμα 5.1. παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή του διαλυμένου οξυγόνου (DO mg/l) στη λίμνη Κερκίνη, βρέθηκε κατά το μήνα Απρίλιο του 2013 σε τιμή 16,03 mg/l. Κατά τους θερινούς μήνες παρατηρείται αισθητή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου διότι είναι η περίοδος του ευτροφισμού όπου καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς για την αποικοδόμηση των θρεπτικών. Επίσης, το μήνα Σεπτέμβριο του 2013 παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες τιμές του διαλυμένου οξυγόνου, πολύ κοντά στο μηδέν, το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε πρόβλημα αισθητήρα λόγω των έντονων λασπορροών στη περιοχή του Δέλτα. Από τις 21/11/2013 έως 30/01/14 και από 08/03/2014 έως 09/07/2014 δεν παρουσιάζεται καμία τιμή λόγω βλάβης αισθητήρα. Σύμφωνα με μελέτη του Ψιλοβίκου Α. (1994), οι μεγαλύτερες τιμές διαλυμένου οξυγόνου είχαν βρεθεί μεταξύ Μαρτίου και Ιουνίου ενώ παρουσιάστηκε μείωση αυτού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

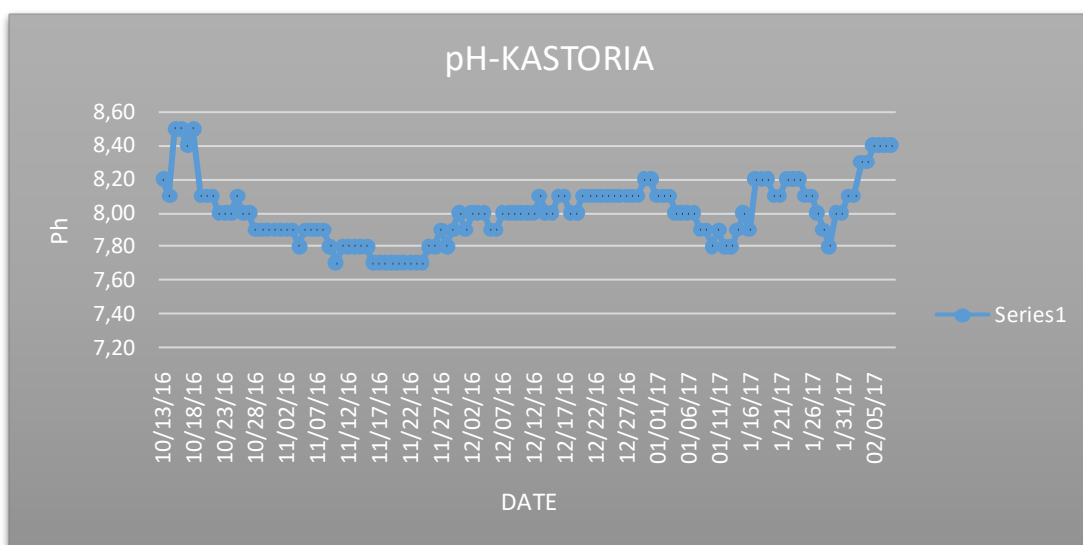


Διάγραμμα 5.2: Χρονική διακύμανση Διαλυμένου Οξυγόνου (DO mg/l) στη λίμνη Καστοριά.

Για τη λίμνη Καστοριά στο διάγραμμα 5.2. παρατηρούνται χαμηλές τιμές κατά τον μήνα Οκτώβριο μέχρι το μήνα Νοέμβριο λόγω του ότι είναι πολύ οξύ το φαινόμενο του ευτροφισμού. Επίσης παρατηρείται το φαινόμενο του αφρισμού με τα νερά να έχουν καφετί χρώμα. Έπειτα, παρατηρείται μία άνοδος στις τιμές του που μεγιστοποιείται στις αρχές Φεβρουαρίου που είναι και η τελευταία μέτρηση. Η άνοδος αυτή οφείλεται στην εισροή ποσοτήτων νερού πολύ χαμηλής θερμοκρασίας στη λίμνη που είναι εμπλουτισμένο σε διαλυμένο οξυγόνο. Για τη λίμνη Καστοριά μία εμπειριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, βρέθηκε ότι το διαλυμένο οξυγόνο μεταβάλλεται αισθητά στο χώρο και το χρόνο, μειούμενο στο $46.2\% \pm 15.1\%$ του κορεσμού στο κατώτερο στρώμα του νερού κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

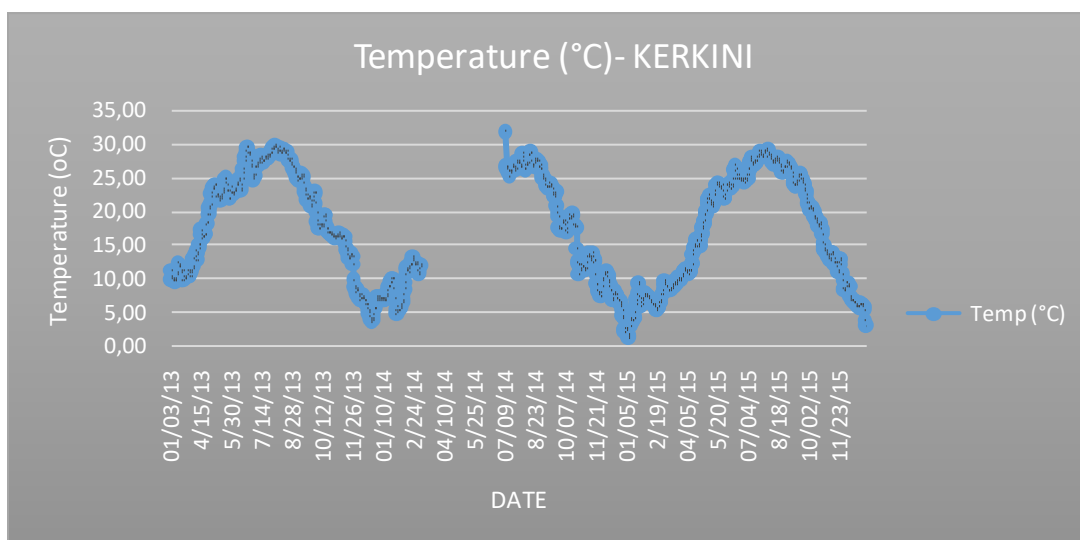


Διάγραμμα 5.3: Χρονική διακύμανση Ενεργού Οξύτητας (pH) στη λίμνη Κερκίνη.

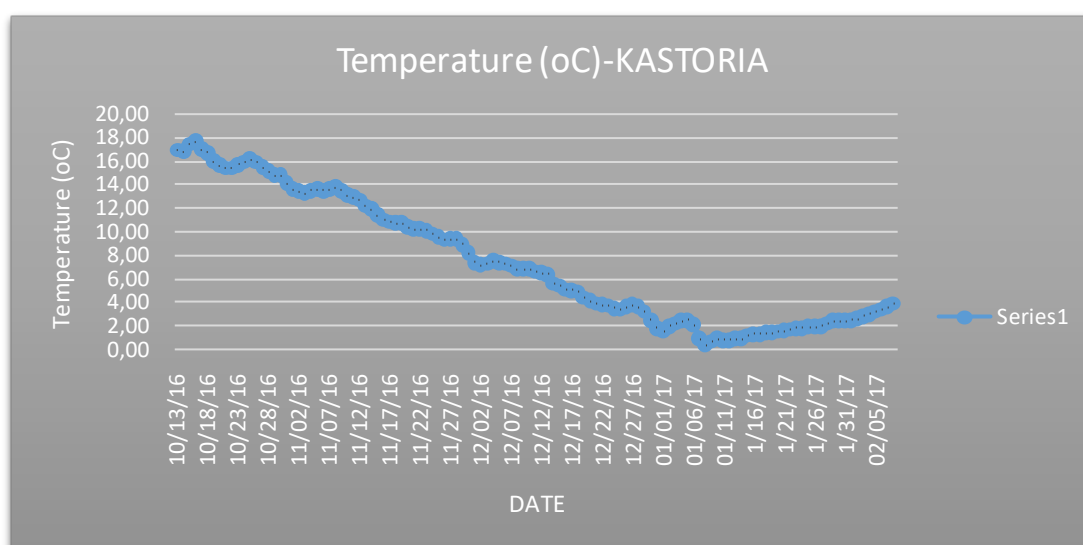


Διάγραμμα 5.4: Χρονική διακύμανση Ενεργούς Οξύτητας (pH) στη λίμνη Καστοριά.

Στο διάγραμμα 5.3. και 5.4. παρατηρείται τιμές του pH για τη λίμνη Κερκίνη και τη λίμνη Καστοριά από 7 έως 9 γεγονός που αποδεικνύει φυσιολογικές τιμές για ένα λιμναίο οικοσύστημα που τις κατατάσσει ως αλκαλικές λίμνες (Ψιλοβίκος, 2014). Για τη λίμνη Κερκίνη παρατηρείται ότι από τις 08/03/2014 έως 09/07/2014 δεν παρουσιάζεται καμία τιμή λόγω πιθανού προβλήματος αισθητήρα. Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο Α. (1994), οι τιμές του pH του νερού της Κερκίνης είχαν βρεθεί 7,5 έως 9,4. Για τη λίμνη Καστοριά μία εμπειριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, βρέθηκε ότι οι μέσες τιμές του pH κυμαίνονταν από 8.1 ± 0.1 μέχρι 9.7 ± 0.1 γεγονός που επαληθεύεται μετά από 18 χρόνια με την παρούσα εργασία.



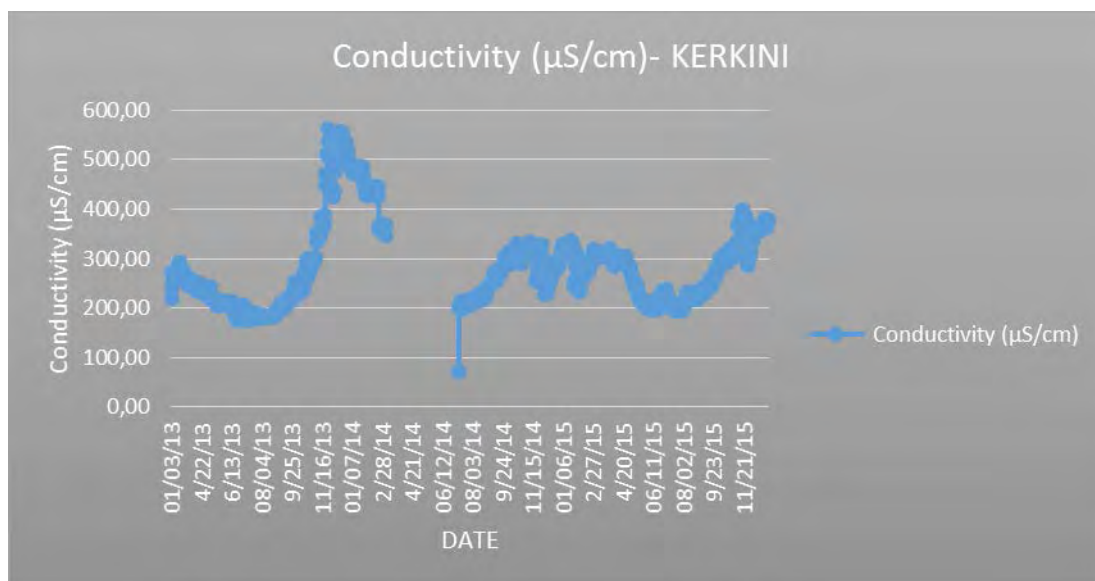
Διάγραμμα 5.5: Χρονική διακύμανση Θερμοκρασίας (T °C) στη λίμνη Κερκίνη.



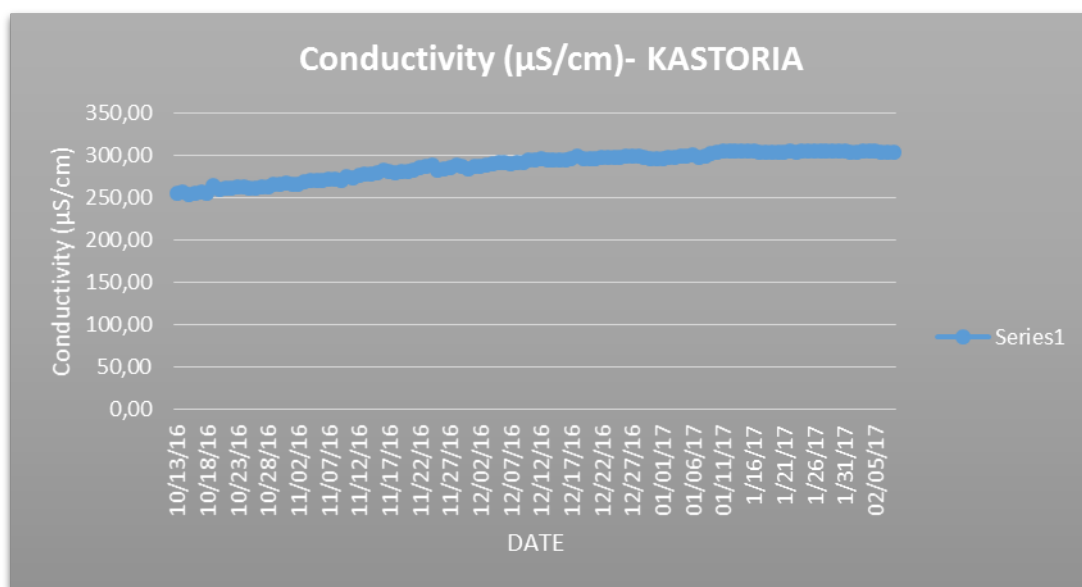
Διάγραμμα 5.6: Χρονική διακύμανση Θερμοκρασίας (T °C) στη λίμνη Καστοριά.

Στο διάγραμμα 5.5 παρατηρείται μία φυσιολογική εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας στη λίμνη Κερκίνη (αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες και μείωση αυτής τους χειμερινούς). Από τις 08/03/2014 έως 09/07/2014 δεν παρουσιάζεται καμία τιμή λόγω πιθανού προβλήματος αισθητήρα. Στη λίμνη Καστοριά στο διάγραμμα 5.6. παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας, με σταθερό ρυθμό, από το μήνα Οκτώβριο του 2016 έως τις αρχές Ιανουαρίου του 2017 ενώ παραμένει περίπου σταθερή έως αρχές Φεβρουαρίου που αποτελεί και τη τελευταία μέτρηση. Για τη λίμνη Καστοριά μία εμπειριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, έδειξε ότι υπάρχει ένας ισχυρός εποχιακός

κύκλος της θερμοκρασίας του νερού που κυμαίνεται από 0° C έως 26.8° C \pm 0.4° C και με κάθετες διαβαθμίσεις από το Μάιο έως τον Αύγουστο.



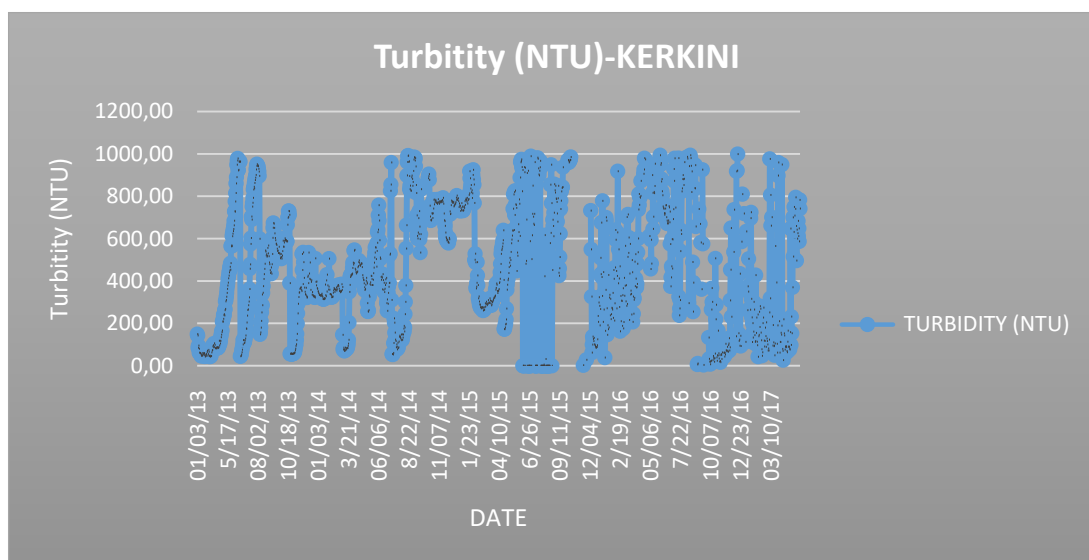
Διάγραμμα 5.7: Χρονική διακύμανση Αγωγιμότητας (Conductivity μS/cm) στη λίμνη Κερκίνη.



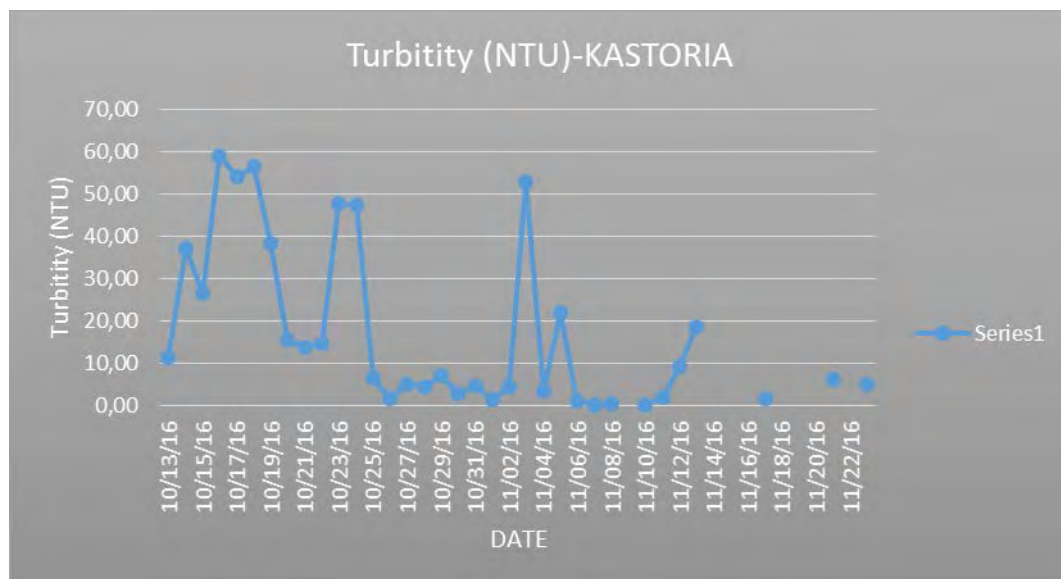
Διάγραμμα 5.8: Χρονική διακύμανση Αγωγιμότητας (Conductivity μS/cm) στη λίμνη Καστοριά.

Η αύξηση της αγωγιμότητας συνδέεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων. Στα γλυκά νερά όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η βιολογική τους παραγωγικότητα (Ruttner, 1963). Στο διάγραμμα 5.7. παρατηρείται στη λίμνη Κερκίνη μία απότομη αύξηση των τιμών της αγωγιμότητας σε ποσοστό 67% από 25/08/2013 έως 16/11/2013. Έπειτα, από τις

08/03/2014 έως 09/07/2014 δεν παρουσιάζεται καμία τιμή λόγω πιθανού προβλήματος αισθητήρα. Επιπλέον, η ελάχιστη τιμή (71,97 $\mu\text{S/cm}$) παρατηρείται στις 10/07/2014. Από το μήνα Οκτώβρη του 2014 έως το Νοέμβριο του 2015 παρατηρείται ένα εύρος τιμών από 200 έως περίπου 400 $\mu\text{S/cm}$. Για τη λίμνη Καστοριά, στο διάγραμμα 5.8. παρατηρείται μία σταθερή και ελάχιστη ανοδική πορεία των τιμών αγωγιμότητας. Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι φυσιολογικές διότι στα φυσικά γλυκά νερά η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50-500 $\mu\text{S/cm}$ (Βασιλικιώτης & Φυτιανός, 1986).

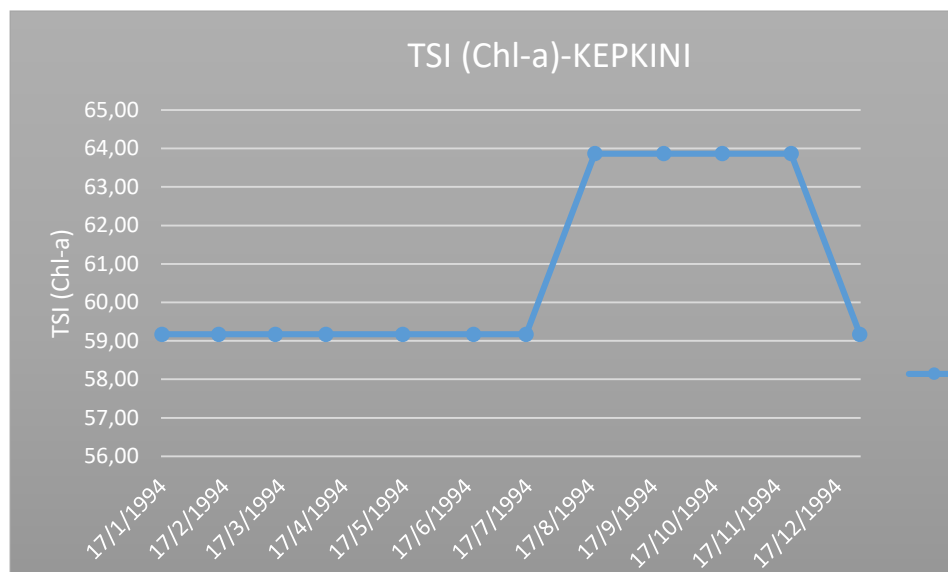


Διάγραμμα 5.9: Χρονική διακύμανση Θολότητας (Turbidity NTU) στη λίμνη Κερκίνη.

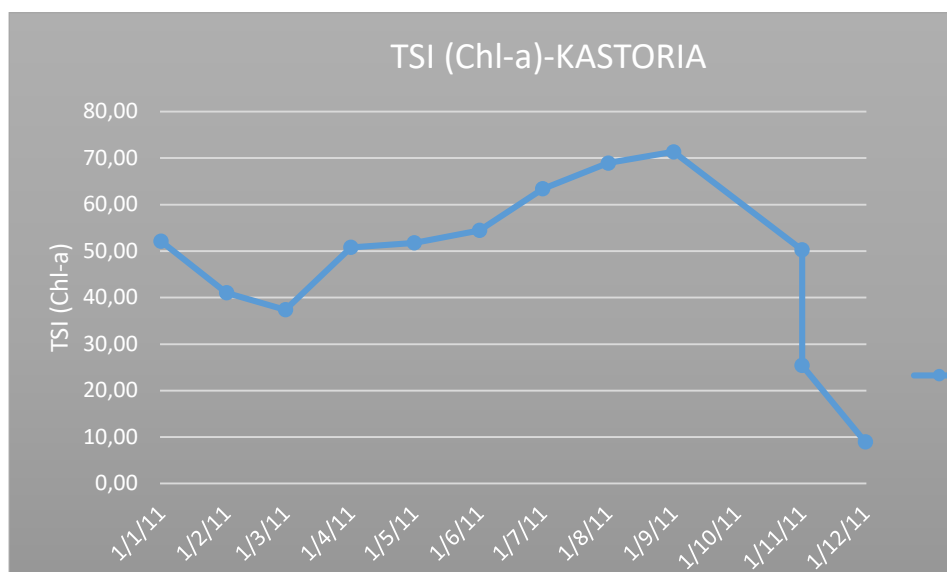


Διάγραμμα 5.10: Χρονική διακύμανση Θολότητας (Turbidity NTU) στη λίμνη Καστοριά.

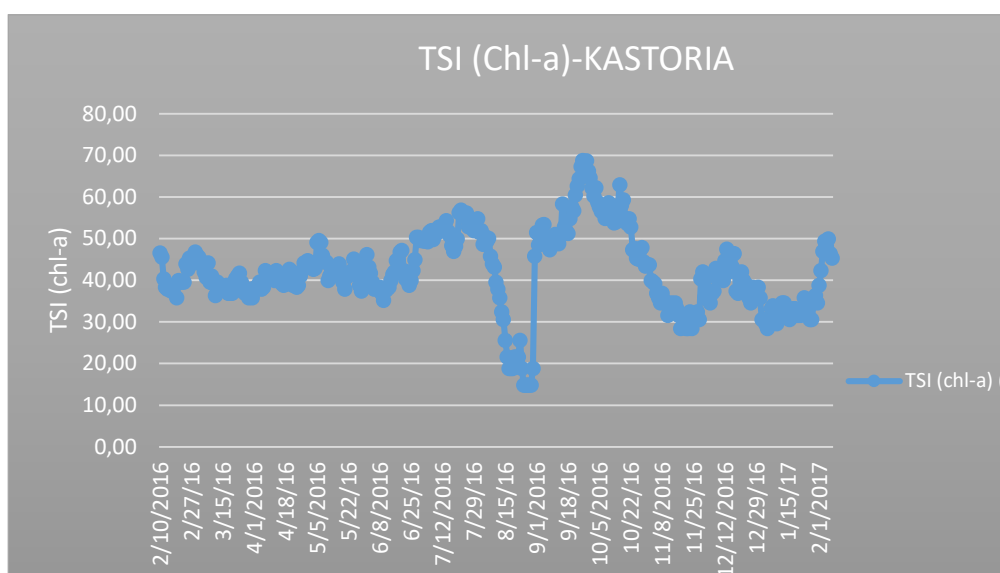
Η θολότητα παρουσιάζει ανομοιομορφίες λόγω της συνεχούς αλλαγής του χαρακτήρα της επιφανειακής διαταραχής του νερού, της φύσης, της ποσότητας και της ποιότητας των νερών που εισρέουν σε μια υδατοσυλλογή, των ανέμων που φέρνουν γεώδη υλικά σε μια υδάτινη περιοχή, της αφθονίας του πλαγκτού, της διαμόρφωσης των ακτών καθώς και από άλλες τοπικές ιδιαιτερότητες (Welch, 1952, Cole, 1953). Για τους παραπάνω λόγους στο διάγραμμα 5.9. παρατηρούνται στη λίμνη Κερκίνη απότομες πτώσεις και ανόδοι τιμών της θολότητας με βάσει το χρόνο. Τέλος, από 24/09/2014 έως 10/10/2014 δεν παρουσιάζεται καμία τιμή λόγω πιθανού προβλήματος αισθητήρα. Για τη λίμνη Καστοριά στο διάγραμμα 5.10. παρατηρούνται απότομες πτώσεις και ανόδοι τιμών της θολότητας με βάσει το χρόνο. Από 13/11/2014 έως 05/02/2014 παρουσιάζονται μόνο 5 μετρήσεις οι οποίες είναι πολύ κοντά στο μηδέν λόγω πιθανού προβλήματος αισθητήρα. Τέλος, για τη λίμνη Καστοριά μία εμπεριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, έδειξε ότι η διαφάνεια του νερού ήταν γενικά χαμηλή (μέση ετήσια 97.9 ± 36.9 εκατοστών).



Διάγραμμα 5.11: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson της Χλωροφύλλης (TSI (Chl-a)) στη λίμνη Κερκίνη.



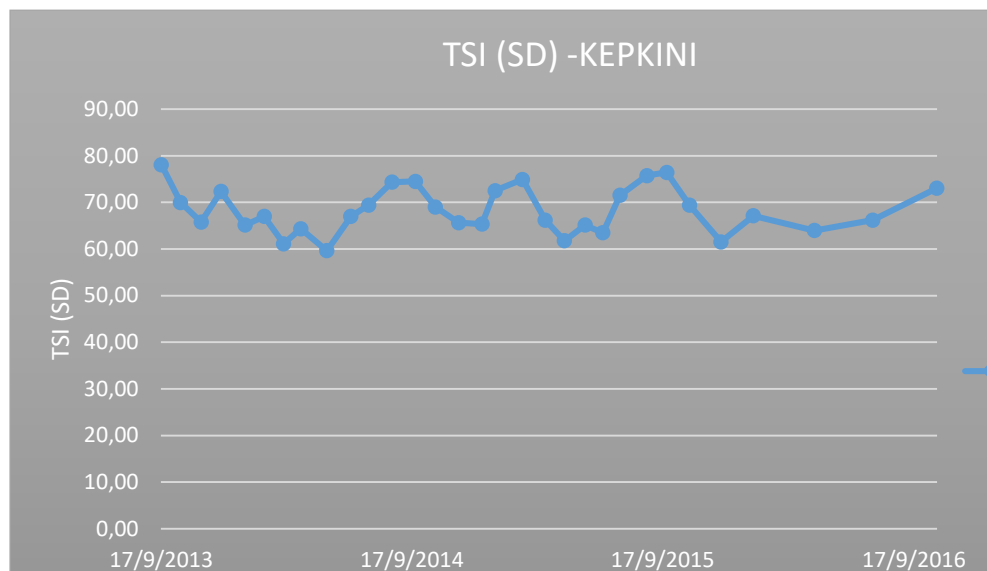
Διάγραμμα 5.12: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson της Χλωροφύλλης (TSI (Chl-a)) στη λίμνη Καστοριά.



Διάγραμμα 5.13: Χρονική διακύμανση (ημερίσια) του δείκτη Carlson Ολικού Φωσφόρου (TSI (TP)) στη λίμνη Καστοριά.

Με βάσει τον πίνακα 5.1. ο οποίος απεικονίζεται στο προηγούμενο κεφάλαιο και το διάγραμμα 5.11. του δείκτη Carlson της χλωροφύλλης, για το έτος 1994, τα στοιχεία πάρθηκαν από μελέτη του κ. Ψιλοβίκου Α. (1994), λόγω έλλειψης δεδομένων, η λίμνη Κερκίνη χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική ολόκληρο το έτος. Όσον αφορά τη λίμνη Καστοριά, στο διάγραμμα 5.12. του δείκτη Carlson της χλωροφύλλης, για το έτος 2011 η λίμνη χαρακτηρίζεται ως oligotrophic κατά τους μήνες Μάρτιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, ως μεσοτροφική κατά τους μήνες Φεβρουάριο, ως eutrophic τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο,

Αύγουστο και Οκτώβριο και τέλος ως υπερευτροφική το μήνα Σεπτέμβριο. Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τα παραπάνω η λίμνη χαρακτηρίζεται ως ευτροφική. Επιπλέον, σύμφωνα με τον πίνακα 6.1. και με βάση το διάγραμμα 5.13. του δείκτη Carlson της χλωροφύλλης καθημερινών μετρήσεων, για το έτος 2016 η λίμνη Καστοριά χαρακτηρίζεται ως oligotroφική κατά τους μήνες Μάρτιο, Αύγουστο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο, ως mesotroφική κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο και τέλος ως ευτροφική τους μήνες Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Έτσι λοιπόν οι τιμές του δείκτη χλωροφύλλης για το έτος 2016 κατατάσσουν τη λίμνη ως mesotroφική. Για το έτος 2017 έχουμε μετρήσεις για το μήνα Ιανουάριο που κατατάσσουν τη λίμνη ως oligotroφική και για το πρώτο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου που τη χαρακτηρίζουν ως mesotroφική.

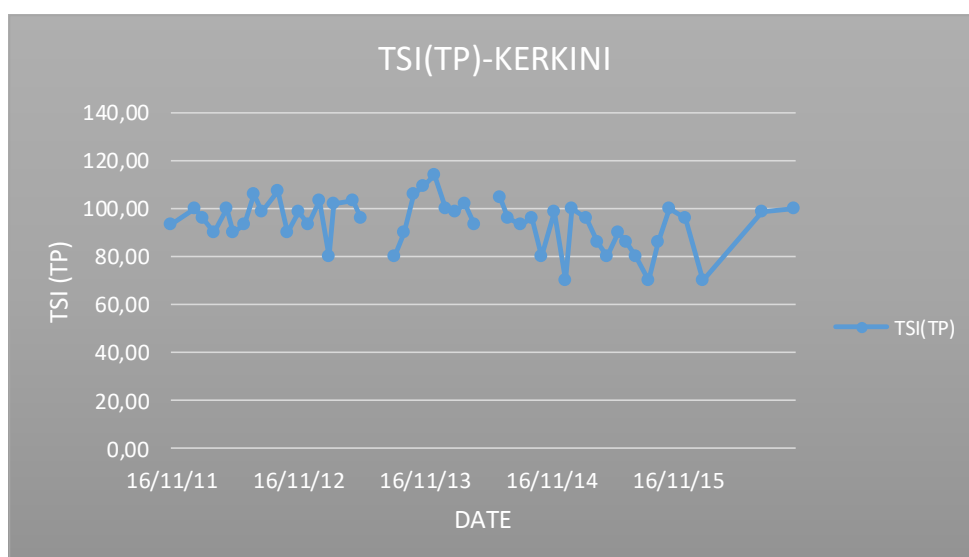


Διάγραμμα 5.14: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson του δίσκου Secchi (TSI (SD)) στη λίμνη Κερκίνη.



Διάγραμμα 5.15: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson του δίσκου Secchi (TSI (SD)) στη λίμνη Καστοριά.

Βάσει του πίνακα 5.1 και του διαγράμματος 5.14. του δείκτη Carlson για το βάθος του δίσκου Secchi, για τα έτη 2013 έως 2016 η λίμνη Κερκίνη χαρακτηρίζεται ως ευτροφική κατά τους μήνες Ιανουάριο έως Ιούλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο και ως υπερευτροφική από το μήνα Αύγουστο έως Οκτώβριο. Για τη λίμνη Καστοριά με βάσει το διάγραμμα 5.15. του δείκτη Carlson για το βάθος του δίσκου Secchi, για το έτος 2011 η λίμνη χαρακτηρίζεται ως oligotroφική κατά τον μήνα Ιανουάριο, ως mesotroφική κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο και τέλος ως ευτροφική τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω για το έτος 2011 η λίμνη Καστοριά χαρακτηρίζεται ως mesotroφική.

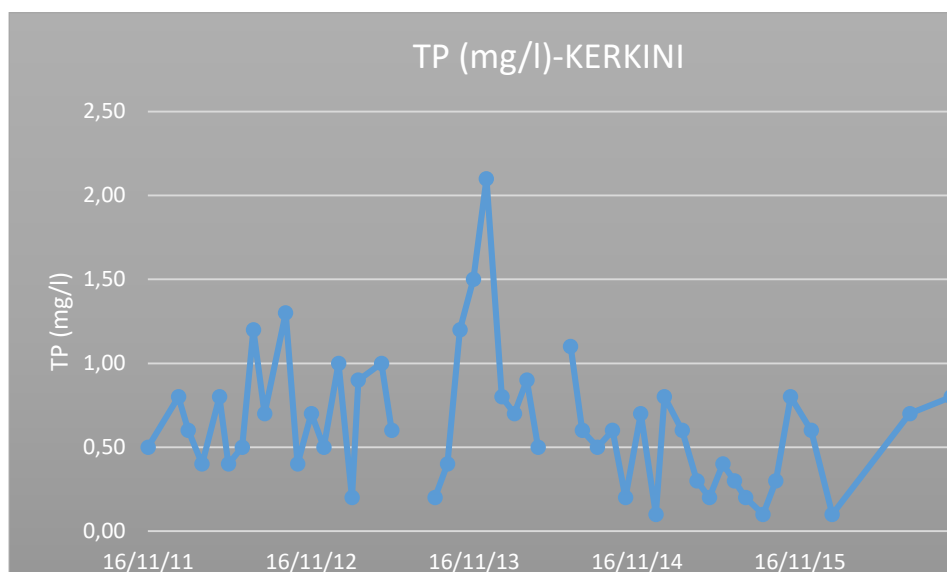


Διάγραμμα 5.16: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson του Ολικού Φωσφόρου (TSI (TP)) στη λίμνη Κερκίνη.

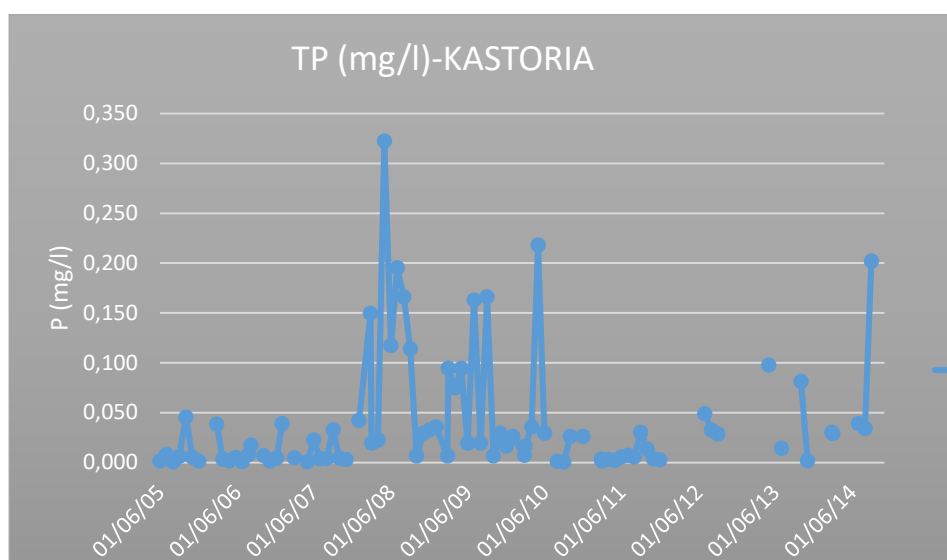


Διάγραμμα 5.17: Χρονική διακύμανση του δείκτη Carlson του Ολικού Φωσφόρου (TSI (TP)) στη λίμνη Καστοριά.

Με βάσει τον πίνακα 5.1. και το διάγραμμα 5.16. του δείκτη Carlson για τον Ολικό Φωσφόρο, για τα έτη 2011 έως 2015 η λίμνη χαρακτηρίζεται ως υπερευτροφική για όλα τα έτη. Για τη λίμνη Καστοριά με βάσει το διάγραμμα 5.17. του δείκτη Carlson για τον Ολικό Φωσφόρο, για το έτος 2011 η λίμνη χαρακτηρίζεται ως oligotroφική κατά τον μήνα Ιανουάριο και Δεκέμβριο, ως mesotroφική κατά το μήνα Φεβρουάριο, ως ευτροφική τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Νοέμβριο και τέλος ως υπερευτροφική τους μήνες Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Έτσι λοιπόν οι τιμές του δείκτη Ολικού Φωσφόρου για το έτος 2011 κατάσσουν τη λίμνη ως ευτροφική.



Διάγραμμα 5.18: Χρονική διακύμανση του Ολικού Φωσφόρου TP (mg/l) στη λίμνη Κερκίνη.



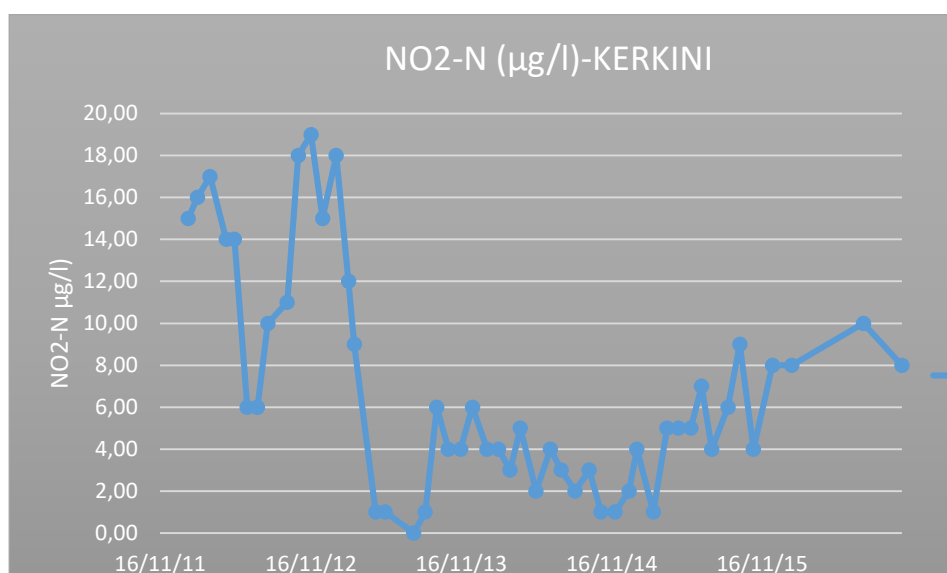
Διάγραμμα 5.19: Χρονική διακύμανση του Ολικού Φωσφόρου (TP mg/l) στη λίμνη Καστοριά.

Βάσει του πίνακα 5.1 ο οποίος απεικονίζεται παρακάτω και σύμφωνα με το διάγραμμα 5.18. για τις τιμές του Ολικού Φωσφόρου παρατηρείται γενικά ότι η λίμνη Κερκίνη κατατάσσεται ως υπereυτροφική (τιμές $>0,100$ mg/l) και τις ημερομηνίες 25/08/2015 και 27/01/2016 κατατάσσεται ως ευτροφική (τιμές 0,1 mg/l). Επίσης, δεν υπάρχουν μετρήσεις για 23/07/2013 και για 16/05/2014. Σύμφωνα με το Ψιλοβίκο Α. (1994) οι τιμές του Ολικού Φωσφόρου για τη λίμνη Κερκίνη είχαν κυμανθεί από 0,01 έως 0,32 mg/l. Για τη λίμνη Καστοριά σύμφωνα με τον πίνακα 6.2. και με βάσει το διάγραμμα 5.19. η λίμνη κατατάσσεται ως ευτροφική κατά τους μήνες Οκτώβρη του 2005, Φεβρουάριο του 2006, Ιανουάριο του 2007, του 2008 και του 2009, τον

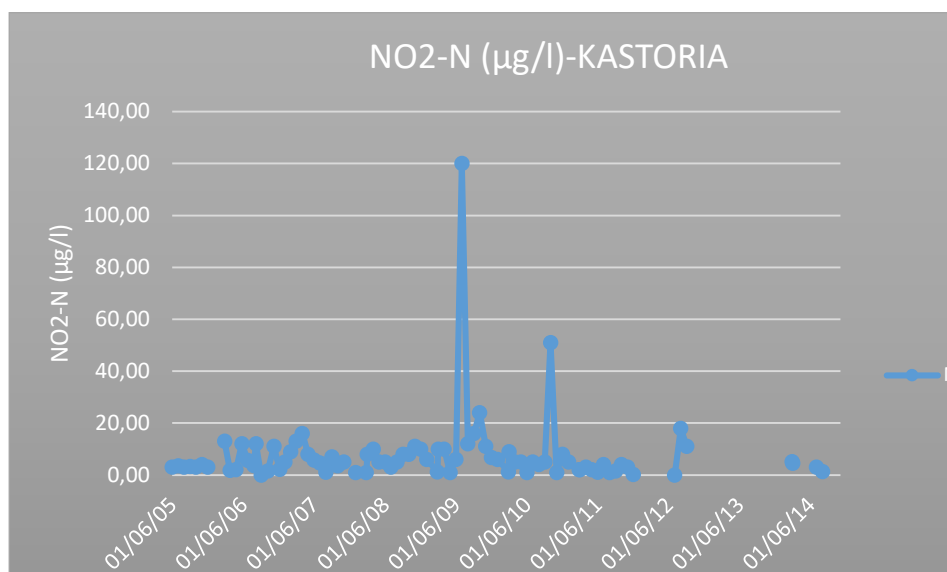
Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο του 2009, τον Απρίλιο του 2010 και τον Ιούλιο του 2012, ενώ κατατάσσεται ως υπereυτροφική κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο του 2008, τον Ιούλιο και το Σεπτέμβριο του 2009, τον Μάιο του 2010 και τον Σεπτέμβριο του 2014. Για τους υπόλοιπους μήνες η λίμνη χαρακτηρίζεται επί το πλείστον ως oligotroφική. Τέλος, για τη λίμνη Καστοριά μία εμπειριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, έδειξε ότι ο ολικός φωσφόρος (μέση ετήσια συγκέντρωση από 189.3+_201.0 mg/l) ανήλθε σε υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά το Μάιο (626.2+_145.5mg/l) και τον Ιούλιο (513.9+_80.7mg/l).

Πίνακας 5.1: Κατάταξη των λιμνών βάση των τιμών Ολικού Φωσφόρου (OECD, 1982).

Εύρος (σε mg/l)	Κατηγορία
<0,010	Ολιγοτροφική
0,010 – 0,035	Μεσοτροφική
0,035-0,100	Ευτροφική
>0,100	Υπερευτροφική

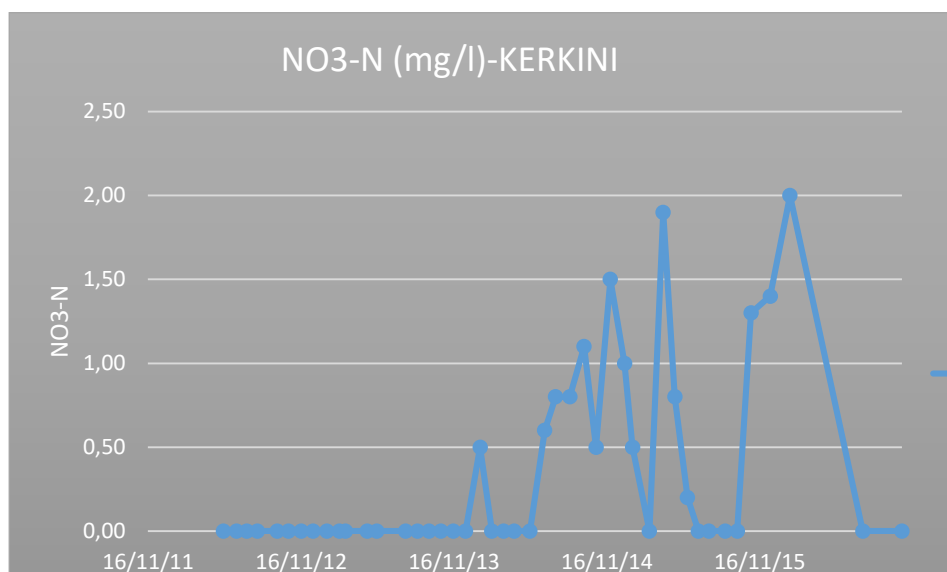


Διάγραμμα 5.20: Χρονική διακύμανση του Νιτρώδους Αζώτου (NO₂-N) στη λίμνη Κερκίνη.

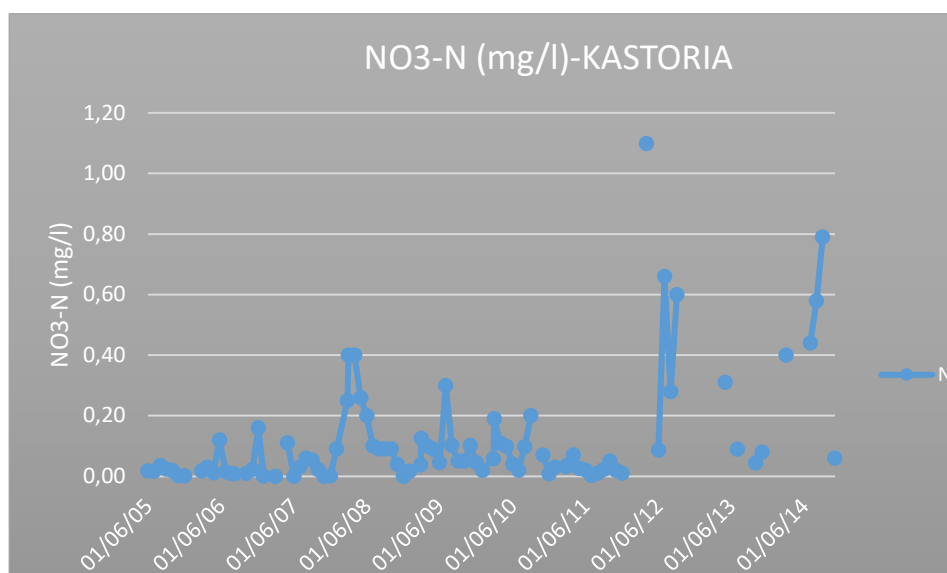


Διάγραμμα 5.21: Χρονική διακύμανση του Νιτρώδους Αζώτου (NO₂-N) στη λίμνη Καστοριά.

Όσον αφορά το Νιτρώδες Άζωτο (NO₂-N μg/l) και σύμφωνα με το διάγραμμα 5.20 στη λίμνη Κερκίνη παρατηρείται ότι για το διάστημα 23/01/2012 έως 01/03/2013 οι τιμές του κυμαίνονται από 6 έως 19 μg/l. Από 01/03/2013 και μετά οι τιμές παρατηρούνται χαμηλές με εύρος από 0 έως 10 μg/l. Σύμφωνα με παλαιότερη έρευνα του Ψιλοβίκου Α. (1994) για τη λίμνη Κερκίνη είχε βρεθεί ένα εύρος τιμών για το Νιτρικό Άζωτο (NO₂-N μg/l) 0-26 μg/l, πράγμα που δείχνει ότι οι τιμές στη παρούσα εργασία είναι λογικές. Για τη λίμνη Καστοριά και σύμφωνα με το διάγραμμα 5.21 παρατηρείται ότι για το διάστημα 01/06/2005 έως 01/06/2009 οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 16 μg/l. Στις 01/07/2009 παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή στα 120 μg/l και μετά οι τιμές του Νιτρικού Αζώτου (NO₂-N μg/l) παρατηρούνται με εύρος από 0 έως 51 (η μέγιστη τιμή) μg/l. Το νιτρώδες άζωτο είναι μια πολύ ασταθής ένωση και ισορροπεί μεταξύ του νιτρικού και του αμμωνιακού αζώτου.



Διάγραμμα 5.22: Χρονική διακύμανση του Νιτρικού Αζώτου (NO₃-N) στη λίμνη Κερκίνη.



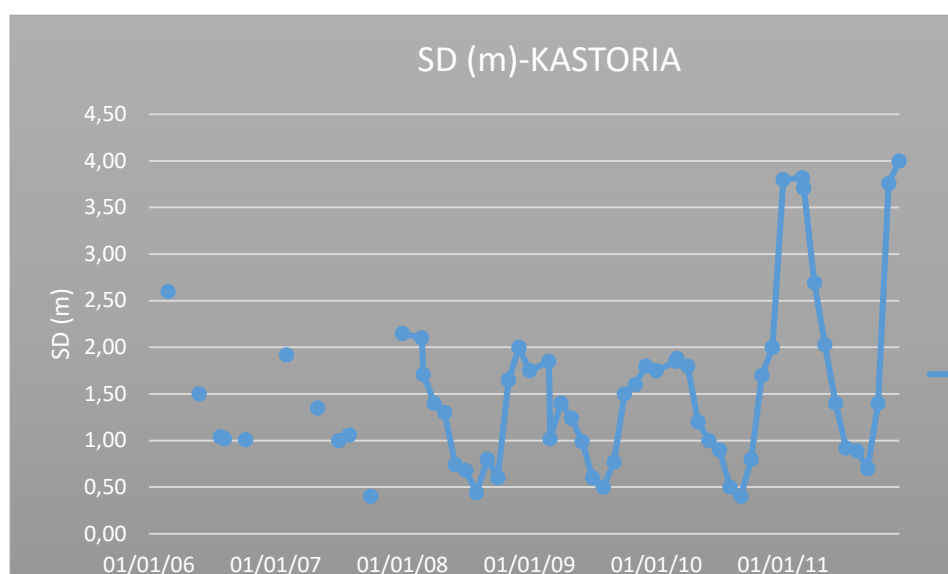
Διάγραμμα 5.23: Χρονική διακύμανση του Νιτρικού Αζώτου (NO₃-N) στη λίμνη Καστοριά.

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.2 ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω και με βάσει το διάγραμμα 5.22. στη λίμνη Κερκίνη από 14/05/2012 έως 16/05/2014 οι τιμές του Νιτρικού Αζώτου (NO₃-N) κυμαίνονται από 0 έως 0,5 και αυτό εξηγεί ότι δεν υπάρχουν ρυπασμένα επιφανειακά νερά στη λίμνη. Από 17/05/2014 σε κάποιες περιπτώσεις ευνοείται η ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών (>0,3 mg/l) και σε κάποιες άλλες υπάρχουν έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις (>1 mg/l) με μέγιστη τιμή να παρατηρείται στις 27/01/2015 (2 mg/l). Για τη λίμνη Καστοριά, και σύμφωνα με τον πίνακα 6.3. και το διάγραμμα 5.23 οι τιμές του Νιτρικού Αζώτου (NO₃-N) κυμαίνονται από 0 έως 1 και αυτό εξηγεί ότι δεν υπάρχουν ρυπασμένα επιφανειακά νερά στη λίμνη. Σε κάποιες περιπτώσεις ευνοείται η ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών

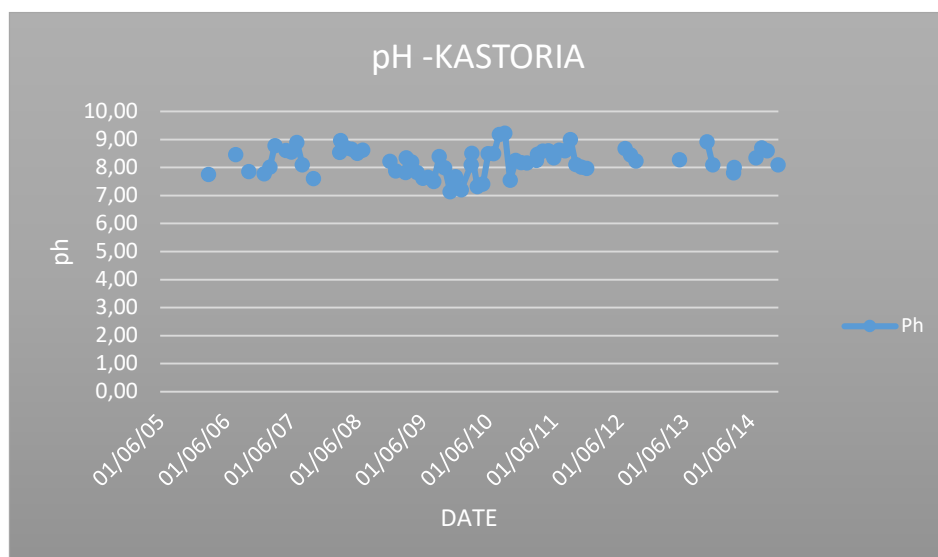
(>0,3 mg/l) και μόνο σε μία περίπτωση στις 01/04/2012 υπάρχουν έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις (>1 mg/l) με τιμή 1,10 mg/l. Τέλος, για τη λίμνη Καστοριά μία εμπειριστατωμένη έρευνα του Κουσουρή η οποία έλαβε χώρα τα έτη 1998 με 1999, έδειξε ότι το Νιτρικό Άζωτο μειώνεται σε χαμηλά επίπεδα το καλοκαίρι (ελάχιστο 4.8+_1.9 mg/l).

Πίνακας 5.2: Οι συγκεντρώσεις του Νιτρικού Αζώτου (NO₃-N) διακρίνονται στις παρακάτω περιπτώσεις τιμών (Κουσουρή, 1998).

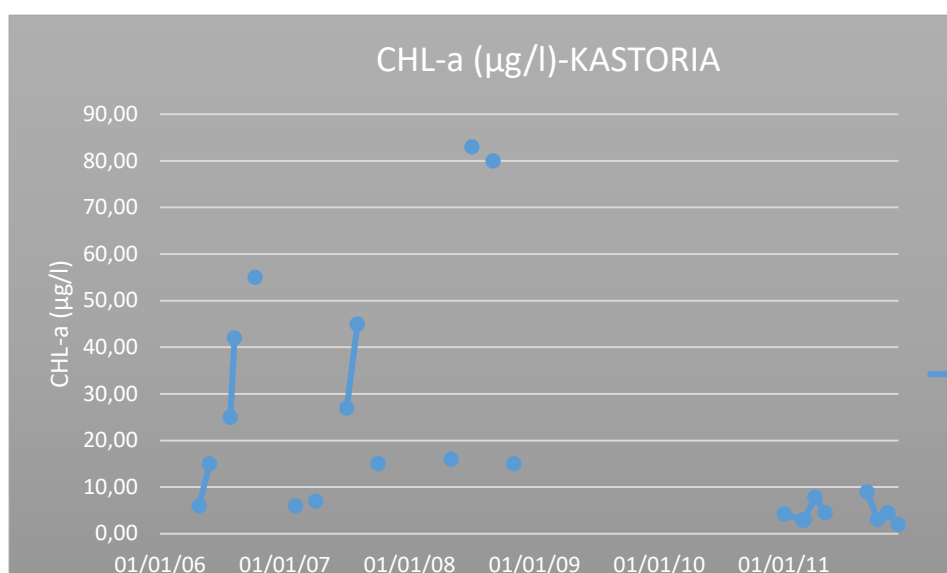
Εύρος τιμών σε mg/l	
<0,1 έως 1	Μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά σε ποτάμια και λίμνες.
>1	Ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά λύματα και απορροή από αστικές και γεωργικές εκτάσεις).
<0,1	Σε λίμνες κατά τη διάρκεια θερινών μηνών.
>0,3	Ευνοούν την ανάπτυξη ευτροφικών συνθηκών.



Διάγραμμα 5.24: Χρονική διακύμανση του δίσκου Secchi (SD) στη λίμνη Καστοριά από το σταθμό Σταυρό.



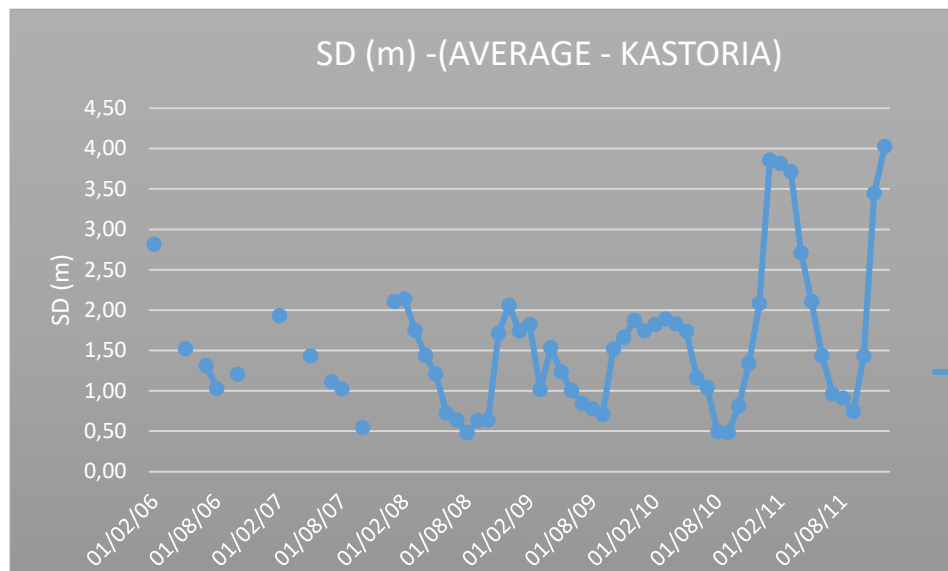
Διάγραμμα 5.25: Χρονική διακύμανση Ενεργού Οξύτητος (pH) στη λίμνη Καστοριά από το σταθμό Σταυρός.



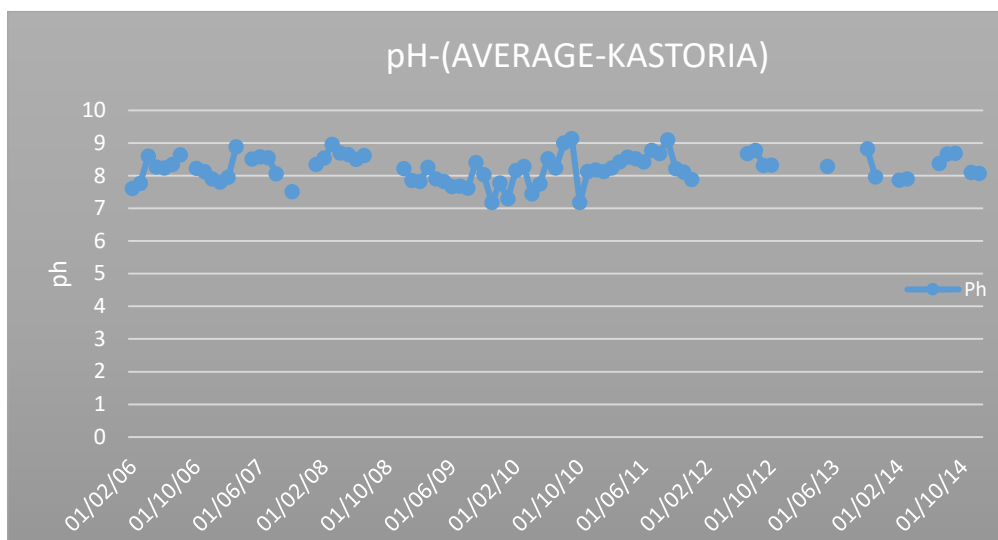
Διάγραμμα 5.26: Χρονική διακύμανση Χλωροφύλλης (CHL-a) στη λίμνη Καστοριά από το σταθμό Σταυρός.

Βάσει μετρήσεων του βάθους του δίσκου Secchi, του pH και της χλωροφύλλης α, οι οποίες λήφθηκαν από το σταθμό Σταυρό στη λίμνη Καστοριά προέκυψαν κάποια συμπεράσματα τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια. Βάσει του πίνακα 6.1. και του διαγράμματος 5.24. του βάθους του δίσκου Secchi, η λίμνη Καστοριά για το έτος 2011 χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική, ενώ για τα έτη 2006 έως το 2010 ως ευτροφική. Στο διάγραμμα 5.25. παρατηρούνται τιμές του pH από 7 έως 9 γεγονός που αποδεικνύει φυσιολογικές τιμές για ένα λιμναίο οικοσύστημα που κατατάσσει τη λίμνη Καστοριά ως αλκαλική (Ψιλοβίκος, 2014). Τέλος, στο διάγραμμα 5.26. για τη

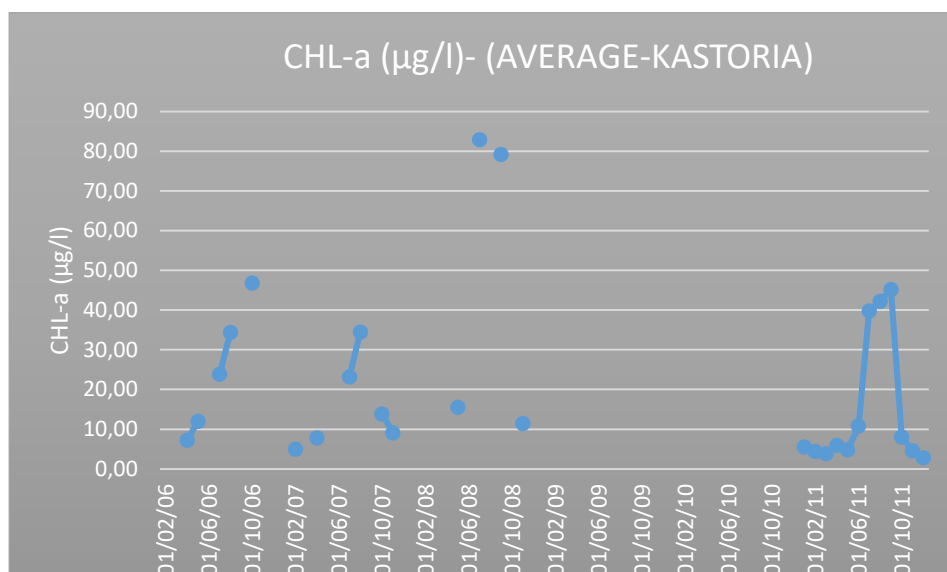
χλωροφύλλη-α, η λίμνη Καστοριά χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική το έτος 2011 ενώ ως ευτροφική τα έτη 2006 έως και 2008. Για τα έτη 2009 και 2010 δεν υπάρχουν μετρήσεις.



Διάγραμμα 5.27: Χρονική διακύμανση δίσκου Secchi (SD) (μέσοι όροι 5 σταθμών) στη λίμνη Καστοριά.

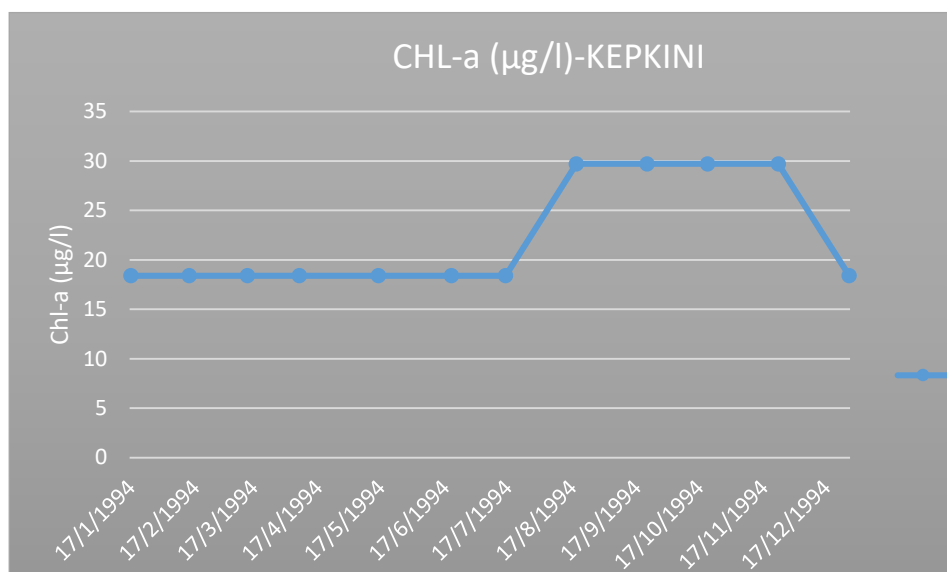


Διάγραμμα 5.28: Χρονική διακύμανση Ενεργούς Οξύτητος (pH) (μέσοι όροι 5 σταθμών) στη λίμνη Καστοριά.

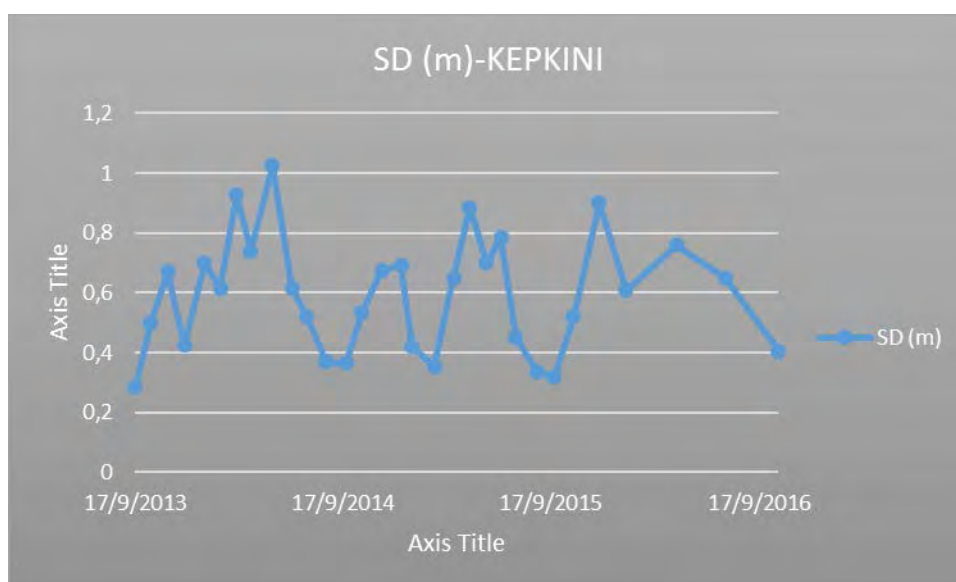


Διάγραμμα 5.29: Χρονική διακύμανση Χλωροφύλλης (CHL-a) (μέσοι όροι 5 σταθμών) στη λίμνη Καστοριά.

Βάσει μετρήσεων του βάθους του δίσκου Secchi, του pH και της χλωροφύλλης α, οι οποίες πάρθηκαν από το μέσο όρο πέντε σταθμών (Σιάτιστα, Ξηροπόταμος, Μαυριώτισσα, Βόρεια Παραλία και Σταυρός) στη λίμνη Καστοριά προέκυψαν επίσης τα ανάλογα συμπεράσματα που δίνονται στη συνέχεια. Σύμφωνα με τον πίνακα 6.1. και το διάγραμμα 5.27. του βάθους του δίσκου Secchi η λίμνη Καστοριά για το έτος 2011 χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική ενώ για τα έτη 2006 έως το 2010 χαρακτηρίζεται ως ευτροφική. Στο διάγραμμα 5.28. παρατηρούνται τιμές του pH από 7 έως 9 γεγονός που αποδεικνύει φυσιολογικές τιμές για ένα λιμναίο οικοσύστημα που κατατάσσει τη λίμνη Καστοριά ως αλκαλική (Ψιλοβίκος, 2014). Τέλος, με βάσει τον πίνακα 6.1. και το διάγραμμα 5.29. η λίμνη Καστοριά χαρακτηρίζεται ως μεσοτροφική τα έτη 2007 και 2011 ενώ ως ευτροφική τα έτη 2006 και 2008. Για τα έτη 2009 και 2010 δεν υπάρχουν μετρήσεις.



Διάγραμμα 5.30: Χρονική διακύμανση Χλωροφύλλης (CHL-a) στη λίμνη Κερκίνη.



Διάγραμμα 5.31: Χρονική διακύμανση του βάθους του δίσκου Secchi (SD) στη λίμνη Κερκίνη.

Βάσει των μετρήσεων της χλωροφύλλης-α, για την οποία λόγω έλλειψης τιμών τα δεδομένα λήφθηκαν από μελέτη του Ψιλοβίκου (1994), και του βάθους του δίσκου Secchi για τη λίμνη Κερκίνη προέκυψαν τα ανάλογα συμπεράσματα που δίνονται στη συνέχεια. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1. και με το διάγραμμα 5.30 στο οποίο παρατηρούνται τιμές της χλωροφύλλης-α στη λίμνη Κερκίνη για το έτος 1994, κατατάσσουν τη λίμνη ως ευτροφική. Στο διάγραμμα 5.31. στο οποίο παρατηρούνται τιμές του βάθους του δίσκου Secchi, η λίμνη Κερκίνη για όλα τα έτη χαρακτηρίζεται ως ευτροφική. Σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (1994) οι συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης-α στο νερό της Κερκίνης κυμαίνονται μεταξύ 5,0 και 33,8 µg/l, γεγονός που

αποδίδεται στην παρουσία ή μη πλαγκτονικών οργανισμών, ιδιαίτερα διατόμων στο νερό της λίμνης οι οποίες συγκεντρώσεις κατατάσσουν τη λίμνη Κερκίνη στις εύτροφες λίμνες.

Για τη λίμνη της Καστοριάς, ανάλογα αποτελέσματα λήφθηκαν και από παλαιότερες μελέτες. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Κωτούλα κ.ά. (1994) έδειξαν ότι η λίμνη είναι υπερευτροφική, γεγονός που προκαλεί υπέρμετρη αύξηση της παραγωγικότητας που υποβαθμίζει έντονα την ποιότητα των νερών λόγω μείωσης ή εξάλειψης του Διαλυμένου Οξυγόνου, μείωσης της διαφάνειας του νερού, πρόκλησης οσμών κλπ. Επιπλέον, προκαλείται έντονη μείωση των πλέον επιθυμητών ειδών ψαριών, καθώς η ανάπτυξη του ηλιόψαρου το οποίο είναι ένα ξενικό είδος καναδέζικης προέλευσης, επικρατεί έναντι της πεταλούδας η οποία τρώει τα μακρόφυτα και έτσι η απουσία αυτού του είδους έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό της λίμνης με μακρόφυτα. Επιπρόσθετα φορτία φωσφόρου, που αποδεικνύουν και τη τροφική κατάσταση της λίμνης, δέχεται η λίμνη από αστικά λύματα (πριν την κατασκευή του βιολογικού καθαρισμού το 1995), όμβριες απορροές αστικών περιοχών, όμβριες απορροές υπαίθριων περιοχών καθώς και απ' ευθείας από βροχοπτώσεις. Κατά μέσο όρο η λίμνη δέχεται περίπου 14400 kg/yr, εκ των οποίων τα 9200 kg/yr προέρχονται από τα λύματα (Κωτούλας κ.ά., 1993).

Χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του έργου: «Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής των ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας» (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013), αναφορικά με τη σχέση υπόγειων και επιφανειακών νερών, προκύπτουν κάποια αποτελέσματα. Από τις μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων (TDS, αγωγιμότητα, αλατότητα κ.λπ.) στα υπόγεια και στα επιφανειακά νερά της λεκάνης προκύπτει ότι για κάποιες από αυτές υπάρχει σχετική ταύτιση (χαμηλές τιμές αγωγιμότητας, ιόντων χλωρίου) και για κάποιες άλλες διαφοροποιήσεις τόσο στο εύρος κύμανσης όσο και στη χρονική μεταβολή (νιτρικά, αμμωνιακά, θειικά). Η ποιότητα του νερού της λίμνης της Καστοριάς εμφανίζεται βελτιωμένη σε σχέση με αυτήν της υπόγειας υδροφορίας, προφανώς σαν αποτέλεσμα της τροφοδοσίας της τόσο από τα υψηλού δυναμικού και καλής ποιότητας καρστικά συστήματα που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή όσο και από την απευθείας τροφοδοσία από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Ωστόσο, στη λίμνη καταλήγουν μέσω επιφανειακής απορροής και ποσότητες ρύπων

ανθρωπογενών δραστηριοτήτων από την λεκάνη τροφοδοσίας της (γεωργική και αστική χρήση), όπως αποτυπώνεται από τις συγκεντρώσεις φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων. Η παρουσία στα υπόγεια νερά των προσχωματικών υδροφοριών υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών μαρτυρά την έντονη γεωργική δραστηριότητα που ασκείται στην περιοχή και την ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών για τη διήθηση των ρύπων μέσω της ακόρεστης ζώνης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της περιορισμένης τροφοδοσίας που δέχονται οι προσχωματικοί υδροφορείς, ή και της εφαρμογής κακών καλλιεργητικών πρακτικών (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013). Όσον αφορά στην ύπαρξη καφεΐνης, προφανώς και στην περιοχή γίνεται στην πράξη εκτεταμένη διάθεση υγρών αστικών αποβλήτων σε απορροφητικούς βόθρους (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις παραπάνω περιπτώσεις εξετάστηκε ο ευτροφισμός ως αποτέλεσμα της εξωτερικής τροφοδοσίας των λιμνών από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης τόσο φυσικής όσο και ανθρωπογενούς προέλευσης.

Συμπερασματικά, παρατηρήθηκε πως και στις δύο περιπτώσεις μελέτης το ευτροφικό καθεστώς κυμάνθηκε από ευτροφικό προς υπereυτροφικό. Το γεγονός αυτό προέκυψε από ανθρωπογενή παρέμβαση κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, παρατηρούνται σύντομες περιόδους εμφάνισης μεσοτροφικού καθεστώτος. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, όπως αυτά προέκυψαν ύστερα από την επεξεργασία δεδομένων και τον υπολογισμό των δεικτών ευτροφισμού κατά Carlson.

Να σημειωθεί πως για τη σύγκριση των δύο λιμνών η παρούσα εργασία βασίστηκε σε μελέτη των Κουσουρή και Ψιλοβίκο, διότι είναι στα όρια σε επίπεδο εικοσαετίας (+_2 έτη) και σκοπός ήταν να φανεί πώς έχουν μεταβληθεί τα όρια.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας δεικτών ευτροφισμού κατά Carlson

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Δείκτης TSI(SD)	67,85	60,59	53,05	63,22	62,01	61,2	64,73	75,13	75,98	70,28	65,35	64,15	ΚΕΡΚΙΝΗ
	47,60	47,44	49,36	50,92	53,77	58,87	60,21	63,47	66,36	59,63	49,72	46,73	ΚΑΣΤΟΡΙΑ
Δείκτης TSI(TP)	95,19	92,99	95,36	94,65	92,5	95,1	95,49	85,87	95,22	95,71	100,15	93,79	ΚΕΡΚΙΝΗ
	29,99	43,20	64,78	53,20	59,67	89,46	53,20	58,72	86,40	70,27	61,94	17,36	ΚΑΣΤΟΡΙΑ
Δείκτης TSI(Chl-a)	59,17	59,17	59,17	59,17	59,17	59,17	59,17	63,87	63,87	63,87	63,87	59,17	ΚΕΡΚΙΝΗ
	47,38	45,81	43,79	49,65	53,91	53,91	67,36	66,03	71,12	61,31	51,44	40,75	ΚΑΣΤΟΡΙΑ
	Ολιγοτροφικές		Μεσοτροφικές		Ευτροφικές		Υπερευτροφικές						

Επιπλέον και στις δύο λίμνες καταλήγουν μέσω επιφανειακής απορροής και ποσότητες ρύπων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων από την λεκάνη τροφοδοσίας της (γεωργική και αστική χρήση), όπως έχει αποτυπωθεί από τις συγκεντρώσεις φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων.

Συγκεκριμένα για τη λίμνη της Καστοριάς παρουσιάζονται υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων και καφεΐνης καθώς αυτή είναι αποδέκτης των επιφανειακών απορροών της γύρω γεωργικής περιοχής, αλλά και αστικών αποβλήτων αντίστοιχα (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013). Στα υπόγεια νερά, όντως πιστοποιείται ότι υπάρχει υψηλή διήθηση από την επιφάνεια του εδάφους προς την κορεσμένη ζώνη, αλλά και από το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο προς την κορεσμένη ζώνη. Για τον λόγο ακριβώς αυτό στα υπόγεια νερά παρουσιάζεται υψηλή συγκέντρωση υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων, τα οποία σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν εμμονή σε συνθήκες υπόγειας υδροφορίας, δεδομένης και της περιορισμένης τροφοδοσίας των υπόγειων νερών της περιοχής (προσχωματική υδροφορία) και επομένως των δυνατοτήτων διάλυσης του ρύπου σε μεγάλο όγκο διαλύτη. Όσον αφορά στην ύπαρξη καφεΐνης, προφανώς και στην περιοχή γίνεται στην πράξη εκτεταμένη διάθεση υγρών αστικών αποβλήτων σε απορροφητικούς βόθρους (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2013).

Αξίζει επιπλέον να τονιστεί, πως το φαινόμενο ευτροφισμού στη λίμνη Καστοριάς, μπορεί να εξηγηθεί λόγω της παρουσίας υπολειπόμενης ποσότητας θρεπτικών συστατικών (φωσφόρος, άζωτο) από την εποχή που δεν λειτουργούσε η Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού της πόλης της Καστοριάς. Επιπρόσθετα προβλήματα που συνδέονται με την ευτροφική κατάσταση της συγκεκριμένης λίμνης αναφέρονται η «εφόρμηση» των καλαμιώνων, η εμφάνιση ανοξικών συνθηκών στον πυθμένα της, η αύξηση της θολερότητας καθώς και η υπερανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν (ANKO, 2010). Επιπρόσθετα φορτία φωσφόρου, που ενισχύουν τη τροφική κατάσταση της λίμνης, δέχεται η λίμνη από αστικά λύματα, όμβριες απορροές αστικών περιοχών, όμβριες απορροές υπαίθριων περιοχών καθώς και απ' ευθείας από βροχοπτώσεις.

Για την περίπτωση μελέτης της λίμνης Κερκίνης, αξίζει να επισημανθεί πως το ευτροφικό προς υπereυτροφικό καθεστώς της λίμνης Κερκίνης μπορεί εν μέρη να εξηγηθεί εξαιτίας της εισροής μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών από τον ποταμό Στρυμόνα. Η λίμνη τροφοδοτείται από τον ποταμό Στρυμόνα που ξεκινάει από την Βουλγαρία και εκβάλλει στη λίμνη, στη βόρεια άκρη της. Από την Κερκίνη διέρχονται $2,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ νερού ανά έτος, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό ανανεώνεται 13 φορές το χρόνο (Ταταράκης 1994) χρόνος αρκετά μικρότερος συγκριτικά με τη λίμνη της Καστοριάς όπου ο χρόνος παραμονής του νερού είναι μεγαλύτερος από 2 έτη, σε περιόδους μη ελεγχόμενης απομάκρυνσής του (Κουσουρής, 1998).

Στη λίμνη Κερκίνη υπάρχουν τρεις περίοδοι λειτουργίας του ταμιευτήρα όπου η συχνότητα ανανέωσης του νερού είναι διαφορετική. Επομένως την περίοδο του χειμώνα η λίμνη λειτουργεί ως ποτάμιο - πλημμυρικό σύστημα, την άνοιξη ως ενδιάμεσο μεικτό σύστημα ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες και το φθινόπωρο ως λιμναίο σύστημα. Η ευτροφική κατάσταση της λίμνης μπορεί να εξηγηθεί επιπλέον λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ζωικού και φυτικού πλαγκτόν την περίοδο του καλοκαιριού. Τα φαινόμενα αυτά εμφανίζονται μόνο όταν το επίπεδο του νερού είναι χαμηλό, οι θύρες του ρουφράκτη μένουν κλειστές και η ροή του ποταμού Στρυμόνα είναι ελάχιστη.

Στην περιοχή γύρω από τη λίμνη της Κερκίνης, δεν συναντάται βιομηχανική δραστηριότητα, η παρουσία όμως κάποιων μικρών μονάδων, όπως σφαγεία και βιοτεχνίες δερμάτων, προκαλούν ρύπανση του ποταμού Στρυμόνα με τα απόβλητά τους και έμμεσα και της λίμνης Κερκίνης. Επιπλέον, έχουν εντοπιστεί αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων, που δείχνουν την επίδραση της γεωργικής δραστηριότητας στην περιοχή της λίμνης και δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού. Τέλος η εύφορη πεδιάδα του Νομού Σερρών όπου εκβάλλουν πολλοί χείμαρροι εμπλουτίζουν τη λίμνη με πρόσθετα φερτά υλικά.

Τα μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων της λίμνης διακρίνονται στα μέτρα εξυγίανσης (εξωλίμνια) και στα μέτρα επαναφοράς (εσωλίμνια). Όσον αφορά τα εσωλίμνια μέτρα θεραπείας, απαιτούν διαδικασίες επέμβασης τόσο στον υγρό όγκο όσο και στο ίζημα. Ωστόσο, τόσο η συλλογή δεδομένων, η εκπόνηση μελετών, η διαδικασία υλοποίησης όσο και η διαδικασία χρηματοδότησης είναι εξαιρετικά πολύπλοκη υπόθεση με μεγάλη διάρκεια και κόστος. Από την άλλη, τα μέτρα εξυγίανσης είναι πιο άμεσα και πιο σαφή. (Ψιλοβίκος, 2014)

Εν κατακλείδι αναφέρονται συνοπτικά τα εξωλίμνια μέτρα εξυγίανσης που αφορούν στα παρακάτω (Ψιλοβίκος, 2014):

- Περιορισμός ρύπων αστικών λυμάτων
- Περιορισμός ρύπων βιομηχανικών αποβλήτων
- Περιορισμός ρύπων χειμάρρων ομβρίων υδάτων
- Περιορισμός ρύπων αστικών ομβρίων υδάτων
- Περιορισμός στερεών αποβλήτων από αστικές περιοχές

- Περιορισμός στερεών αποβλήτων από χειμάρρους
- Έλεγχος της κτηνοτροφίας
- Έλεγχος της γεωργίας
- Περιορισμός ρύπων από ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμάτων)

καθώς, και τα εσωλίκμνια μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων του ευτροφισμού στα (Ψιλοβίκος, 2014):

- Απομάκρυνση φωσφόρου εντός
- Απομάκρυνση φωσφόρου εκτός
- Επεξεργασία ιζήματος εντός
- Επεξεργασία ιζήματος εκτός
- Τεχνητός αερισμός
- Τεχνητή ανάμιξη
- Αλλαγή μορφολογίας με επιλέκτική εκβάθυνση
- Απομάκρυνση νερού βυθού με αντλία
- Αραίωση με καθαρό νερό
- Διαχείριση της υδρόβιας βλάστησης
- Μηχανική αντιμετώπιση των φυκών
- Επέμβαση στην τροφική αλυσίδα
- Εφαρμογή νέων ημιεμπειρικών μεθόδων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλμπανάκης, Κ., 1995. «Το πρόβλημα των φερτών υλών στον τεχνητό ταμιευτήρα της Κερκίνης», (συντ. έκδ. Κυριάκος Σκόρδας, Μαρία Αναγνωστοπούλου Αειφορική διαχείριση του νερού της λίμνης Κερκίνης) σελ.41-54. Θεσσαλονίκη

Αλμπάνης, Τρ., 1999. Ρύπανση και τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος. Ιωάννινα. σ. 56

ΑΝ.ΚΟ Α.Ε., 2010. "Επιχειρησιακό σχέδιο εξυγίανσης, προστασίας & ανάδειξης λίμνης Καστοριάς".

Αντωνόπουλος Β., 2010. Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. σ. 473.

Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Μ., Βλάχος, Χ., Καπεταγιάννης, Ι., Κοκκινάκης, Α., Κοκκινη, Σ., Λέτσιος, Β., Μπαλάσκας, Γ. & Hallmann, B. (1986). Πρόγραμμα Οριοθέτησης Υγροτόπων, Σύμβαση RAMSAR. Α' φάση. Υγροβιότοπος Λίμνη Κερκίνη. Υπουργείο Χωροταξίας οικισμού και περιβάλλοντος, Διεύθυνση περιβάλλοντος, Αθήνα. σελ. 91

Αστάρα Θ., Βαβλιάκη Ε. & Ψιλοβίκος Α., 2002. Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον. Σημειώσεις από τις παραδόσεις των διδασκόντων. Θεσσαλονίκη. σ. 49.

Βασιλικιώτης Γ. & Φυτιανός Κ., 1986. Μέθοδοι ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος. ΑΠΘ, 238 σ.

Βαφειάδης Π., 1983. "Υδρολογική Μελέτη της Λεκάνης Καστοριάς" (Διδακτορική Διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Γεωλογίας.

Γεράκης Π. & Τσιούρης Σ., 1989. Σημειώσεις Προστασίας Περιβάλλοντος. Έκδοση Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ.

Γιαννέλη, Χ., 2009. Υδρογεωλογική έρευνα λεκανών του ελληνικού χώρου. Παράδειγμα από τη λεκάνη Αγίων Αναργύρων (Καστοριά).

Δαλέζιος, Ν., 1999. Πρόγραμμα επιμόρφωσης εκπαιδευτικών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην περιβαλλοντική εκπαίδευση. Βόλος. σ. 76.

EKBY.- 1994.- Απογραφή ελληνικών υδροτόπων ως φυσικών πόρων. Εκδ., Ζαλίδης Χ.Γ., Α.Λ. Μαντζαβέλας, 587+xviii.

Ζαλίδης, Γ.Χ. & Μαντζαβέλας, Α., 1994. Απογραφή των Ελληνικών υδροτόπων ως φυσικών πόρων. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων- Υδροτόπων (EKBY).

Ζανάκη Κ., 1996. «Έλεγχος Ποιότητας Νερού» Εκδ. «ΙΩΝ» Αθήνα, ISBN 960-405-501-1.

Ζαχαρίας, Ι., 1992. Μελέτη της κυκλοφορίας των υδάτων σε λίμνες εφαρμογή στην λίμνη Τριχωνίδα. Πάτρα

Θωμαΐδου, Β., 2009. Σχέδιο ολοκληρωμένων παρεμβάσεων σε υδροτόπους, η περίπτωση της Λίμνης του Άργα. σ. 13-16.

Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/1352/1986 (438/Β'/3-7-1986) 1986. Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για <<πόσιμα>>, <<κολύμβηση>>, <<διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά>> και <<καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών>>, <<μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις Οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

Κουσουρής, Θ., 1995. Δομή και διαχείριση εσωτερικών υδάτων: Διδακτικές σημειώσεις Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σ. 185.

Κουσουρής Θ., Αθανασάκης, Α., 1996. Περιβάλλον οικολογία εκπαίδευση. Αθήνα: Εκδόσεις Σαββάλα. σ. 191.

Κουσουρής, Θ., Φώτης, Γ., Κονίδης, Α., 1995. Περιβάλλον και υδατοκαλλιέργεια: Η αμφίδρομη σχέση των επιπτώσεων. Αθήνα: Εκδόσεις Αγροτική τράπεζα Ελλάδος. σ. 187.

Κουσουρής, Θ., 1998. Το νερό στη φύση, στην ανάπτυξη, στην προστασία του περιβάλλοντος. Κουσουρής “Thewaterinnature, indevelopment, in environmental protection”, Αθήνα: Εθνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών. σ. 33, σ. 35-37.

Κοντογεωργίου Α., 2011. Ο ευτροφισμός των λιμνών: Μελέτη του φαινομένου και με παιδαγωγική αξιοποίηση Εκπαιδευτικού Εικονικού Περιβάλλοντος.

Κωτούλας Α., 1994. “Μελέτη για Προστασία της Λίμνης από Προσχώσεις”.

Ματζαφλέρη, Ν., 2007. Χωρική προσομοίωση της ποιότητας των υδάτων της λίμνης Καστοριάς (Master’s Thesis). Βόλος. σ. 21, σ. 26.

Μήτρακας, Μ., 2001. “Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού”, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Μουστάκα- Γούνη Μ., 1997. Ωκεανογραφία: Μία βιολογική Προσέγγιση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις EXIN, σ. 325.

Μπίρτσας, Π., 2002. Οικολογία και προστασία του νυχτοκόρακα, *Nycticorax nycticorax* L., 1758, στην τεχνητή λίμνη Κερκίνη του Ν. Σερρών. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος.

Ν.Α. (Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις), 1970-1996. Στοιχεία και δεδομένα για το υδάτινο περιβάλλον των κατά τόπους περιοχών: Αρχεία από Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις.

Νταρακάς, Ε., 2010. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, σ. 22.

Οικονόμου, Α., Ζόγκαρης, Σ., Χατζηνικολάου, Γ., Τάχος, Β., Γιακουμής, Σ., Κομματάς, Δ., Κούτσικος, Ν., Βαρδάκας, Α., Blasel, K. & Dussling U., 2007. Δημιουργία ιχθυολογικού πολυπαραμετρικού δείκτη για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης ορεινών ρεμάτων και ποταμών. Τελική Τεχνική Έκθεση, ΕΛΚΕΘΕ- Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων (ΙΕΥ), 2007. Φορέας Ανάθεσης: Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Δ/ση Φυσικού Πλούτου, Δ/ση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Αθήνα, σ. 117.

Παναγιωτίδης, Π., Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών: Υδατικά οικοσυστήματα: Εσωτερικά ύδατα

Παπαδοπούλου-Μουρκίδου Ε. (ΑΠΘ), «Σπυρίδης Α. – Κούταλου Β. Ο.Ε. – ΥΕΤΟΣ», Περγλέρος Β., Λιονής Μ., Λεβογιάννης Μ., 2013. Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπογείων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας.

Πέτρου, Ν., 1995. «Καθρεφτίσματα στην Κερκίνη», Αθήνα, Κοάν

Πυροβέτση, Μ. 1995. Αειφορική διαχείριση του νερού της λίμνης Κερκίνης (συντ. έκδ. Κυριάκος Σκόρδας, Μαρία Αναγνωστοπούλου), σελ.109- 124, Θεσσαλονίκη.

Σίνης, Α., 2005. Λιμνολογία θεωρία και ασκήσεις: Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών. σ.37-38, σ. 66-67, σ.71 σ.223-232

Σίνης, Α., 2005. Λιμνολογία θεωρία και ασκήσεις: Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών. σ. 327.

Στάμου, Α. & Βογιατζής Ζ., 1994. Βασικές αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων. 2^η έκδοση. Αθήνα: ΤΕΕ. σ. 371.

Στάμος, Α., Ματθαίοπουλος Α., 2002. Υδρογεωλογική αναγνώριση Δ. Καστοριάς Ν. Καστοριάς-Προγραμματική Σύμβαση ΚΕΔΚΕ-ΥΠΕΣΔΑ-ΙΓΜΕ. ΙΓΜΕ.

Στάμος, Α., 2002. Έκθεση διερεύνησης των υδρογεωλογικών συνθηκών για τη βελτίωση της υδρευτικής κατάστασης στο Δήμο Άργους Ορεστικού Καστοριάς. ΙΓΜΕ.

Στάμος, Α., 2004. Συμπληρωματικά υδρογεωλογικά στοιχεία για την πηγή Μπουζ Μπουνάρι, της μελέτης Υδρογεωλογική αναγνώριση Δ. Καστοριάς Ν. Καστοριάς. ΙΓΜΕ.

Σταμούλης, Δ., 2008. Διαχείριση και σχεδιασμός υγροτοπικών περιοχών: η περίπτωση της λίμνης Κερκίνης.

Στεφανίδης, Κ., 2012. Οικολογική αξιολόγηση των λιμνών της ΒΔ Ελλάδας με έμφαση στις σχέσεις υδροβίων μακρόφυτων-ζωοπλαγκτού και της ποιότητας του νερού (Doctoral dissertation).

Σούλιος, Γ., 1986. Γενική υδρολογία:Τομ.1.Θεσ/νίκη: Univ. Stud. Press, σ. 295.

Στουρνάρας, Γ., 2007. NEPO: Περιβαλλοντική Διάσταση & Διαδρομή. Θεσσαλονίκη: Τζιόλας, σ. 347-348

Ταταράκης Ε., 1994. «Αλιευτική Διαχείριση της λίμνης Κερκίνης»

Τολίκας Δ., Μυλόπουλος Γ., 2000. “Προσδιορισμός παροχών, φερτών υλών και ποιότητας του νερού των χειμάρρων-ρεμμάτων της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Διερεύνηση τάσεων και εφαρμογή εναλλακτικών σεναρίων μείωσης φόρτου”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη

Τσακίρης, Γ., 1996. Διαχείριση υδατικών πόρων μεγάλης κλίμακας: Διεθνείς εμπειρίες και προοπτικές. Πρακ. Δ. Συν. Διαχ. Υδατ. Πόρων, ΤΕΕ, Λάρισα, σελ 14.

Τσακίρης, Γ., 2013. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία. σ. 647-650.

Τσικριτής, Γ., 1986. Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση της νιτρογενάσης στα υδατοσυστήματα. Θεσσαλονίκη. σ. 1-2.

Τσόμπος Π. & Συνεργάτες, 2011. “Εκπόνηση Βυθομετρικών και ιζηματολογικών ερευνών στον πυθμένα της λίμνης Καστοριάς”. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

Φιλίππου, Χρ., 2004. Ποιοτική Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Λεκάνης Απορροής της Λίμνης της Καστοριάς και Μοντέλα Γεωγραφικής Κατανομής της Ρύπανσης. Βόλος. σ. 47.

Ψιλοβίκος, Α. και συν., 1994. Μελέτη- έρευνα Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων των έργων προστασίας περιοχών περί των άνω και κάτω του ποταμού Στρυμόνα, τη λίμνη Κερκίνη και χειμάρρους της πεδιάδας των Σερρών. Ερευνητικό Πρόγραμμα 8074, Α.Π.Θ., Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γεν. Γραμματεία Δημόσιων Έργων, Δ/ση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), Τμ. Τεχν. Υποστήριξης (Δ7/Ε), Θεσσαλονίκη, Στάδιο ΒΓ, Τεύχη Α-Ε.

Ψιλοβίκος Α. & Ψιλοβίκος Α., 2010. Ιζηματολογία. Εκδόσεις Τζιόλα, σελ. 358, Θεσσαλονίκη.

Ψιλοβίκος Α., 2014. Οικουδραυλική. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα. σ. 307-412.

Wetzel, R.G., 2007. Λιμνολογία: Λιμναία και Ποτάμια Οικοσυστήματα. Αθήνα: Αθηνά Οικονόμου- Αμίλλη, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Αθηνών. σ. 691-697

ΕΕΝΟΛΩΣΣΗ

Alexander, M., 1994. Biodegradation and Bioremediation, San Diego: Academic Press. 139 pp.

Barco, J.W., Adams, M. & Clesceri, N., 1986. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation. J. Aquat. Plant Manag., 24, 1-10.

Blindow, I., Anderson, G., Hargeby, A., & Johansson, S. 1993. Long-term pattern of alternative stable states in two shallow eutrophic lakes. Freshwater Biology, 30(1), 159-167.

Bowie, G.L., W.B. Mills, D.B. Porcella, C.L. Campell, J.R. Pagenkopf, G.L. Rupp, K.M. Johnson, P.W.H. Chen, S.A. Gherini and C.E. Chamberlin, 1981. Rates, constants and kinetics formulations in surface water-quality modeling. U.S.EPA. Athens, U.S.A.

CEC., 1992. Council Directive 92/40/EEC of 19 May 1992 introducing Community measures for the control of avian influenza. Official Journal of the European Commission, L167: 1- 15.

Cole, G.A., 1953. Textbook of limnology. Mosby Co. St. Louis, 401 pp.

Cole, G. A., 1975. Textbook of limnology. Mosby.

Croft, P., 1986. Freshwater invertebrates. Field Studies Council.

Dafis, S., Papastergiadou, E., Georghiou, K., Babalonas, D., Georgiadis, T., Papageorgiou, M., ... & Tsiaoussi, V., 1996. The Greek 'habitat' project NATURA 2000: an overview. Life Contract B4-32000/94/756, Commission of the European Communities, The Goulandris Natural History Museum-Greek

Dussart, B., 1966. Limnologie. Gauth. Vill. Paris, 676 pp.

European Environment Agency (EEA), 2000. The Dobris Assessment, Robin Clarke (ed.), Earthscan Publications.

Giller, P. & Malmqvist, B., 2002. The biology of streams and rivers. Oxford University Press. Gispert, A., Berthou, E. & Amich, R., 2002. Fish zonation in a Mediterranean stream. Effects of human disturbances. Aquatic Science, Vol. 64, 163-170 pp.

Graham, L.E., Graham, J.E. & Wilcox, L.W., 2011. 21. Φύκη. Κωσταράκης.

Greenhalg, M. & Oviden, D., 2007. Freshwater life Britain and Northern Europe. Harper – Collins Publishers LTD.

Hutchinson, G.E., 1957. A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics, and Chemistry. New York: John Wiley & Sons. 1015 pp.

Hutchinson, G.E. 1967. A Treatise on Limnology. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. New York: John Wiley & Sons. 1115 pp.

Hutchinson, J. W., 1968. Plastic stress and strain fields at a crack tip. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 337-342pp.

Hutchinson, G.E., 1975. A Treatise on Limnology. Vol. I, Part 2. New York: John Wiley and Sons.

Jeppesen, E., Jensen, J. P., Søndergaard, M., Lauridsen, T., Pedersen, L. J., & Jensen, L., 1997. Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. In Shallow Lakes' 95 (pp. 151-164). Springer Netherlands.

Jeppesen. E., Jensen, J.P. & Jensen, C., 2003. The impact of nutrient state and lake depth on top-down control in the pelagic zone of lakes: a study of 466 lakes from the temperate zone to the Arctic. Ecosystems 6:313–325

Lindell M., Graneli W & Travník L., 1995. Enhanced bacterial growth in response to photochemical transformation of dissolved organic matter. Limnology & Oceanography, Vol 40. 195-199pp.

Machaeek, J., Seda, J., 2007. Life history response of *Daphnia galeata* to heterogeneous conditions within a reservoir as determined in a cross- designed laboratory experiment. Aquatic Ecology, Vol. 41, 55- 66 pp.

Moss, B., 1998. Ecology of Freshwaters. Man and Medium, Past to Future. Blackwell, London

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control, OECD cooperative programme on monitoring of inland waters (eutrophication control). Environmental Directorate OECD, Paris, France.

OECD., 1983. Environmental policies in Greece. Paris: OECD Publ., 138pp.

Rawson, D. S., 1956. Algal indicators of trophic lake types. Limnology and Oceanography, 1(1), 18-25.

Rigler, F., 1973. A dynamic view of the phosphorus cycle in lakes. In Griffith E., Beeton A., Spencer J. & Michell D., eds. Environmental Phosphorus Handbook. John Wiley & Sons. NEW York, pp. 539-572.

Ruttner, F., 1963. Fundamentals of limnology. Toronto, Univ. Press, 295 pp.

Scheffer, M., Hosper, S. H., Meijer, M. L., Moss, B., & Jeppesen, E., 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in ecology & evolution, 8(8), 275-279.

Shannon, E.E. 1970. Eutrophication- Trophic State Relationships in North and Central Florida. Ph.D. Thesis. Univ. Florida.

Smith VH, Tilman GD & Nekola JC., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environ Pollut 100:179–196.

Stednick J., 1991. Wetland Water Quality Sampling and Analysis. Academic Press, Inc., San Diego.

Taub F. B., 1984. Ecosystems of the world-lakes and reservoir. Amsterdam: Elsev. 421pp.

Timms, B. V., 1992. Lake geomorphology. Wiley-Blackwell.

Vollenweider, R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris, OECD, 160 p.

Welch P., 1952. Limnology. McGraw-Hill Publ., N.Y., 538 pp.

Wetzel, R., 1975. Limnology. W.B. Saund., Co. 743 pp.

Wetzel, R., 1983. Limnology. CBS Coll. Publ., USA, 848 pp.

Wetzel, R.G., 1990. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. VerhIntVerLimnol 24:6–24.

Wetzel, R.G., 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press, San Diego, CA.

World Health Organization (WHO), 1996. Guidelines for Drinking-Water Quality, Vol.2 : Health Criteria and Other Supporting Information , 2nd Ed., World Health Organization, Geneva, 1996.

Zacharias, D. A., Violin, J. D., Newton, A. C., & Tsien, R. Y., 2002. Partitioning of lipid-modified monomeric GFPs into membrane microdomains of live cells. Science, 296(5569), 913-916.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

http1:<http://www.kathimerini.gr/375803/article/epikairothta/ellada/eytrofismo-paroysiazei-to-25-twn-limnwn-ths-xwras-mas>

http2:<http://www.pdm.gov.gr/wp-content/uploads/2015/12/Sxedio-diaxeirishs-limnhs-kastorias.pdf>

http3: http://www.ornithologiki.gr/page_cn.php?aID=1777

ABSTRACT

Water quality status is a complex result of both natural and human processes and their interaction in space and time. Lake Kerkini which is located in Central Macedonia, Greece is an artificial, shallow lake. Lake Kastoria is a natural, shallow lake situated in the Region of Western Macedonia, Greece. Both lakes are protected by Council Directives, Regulations and International Conventions, focusing on the protection of their environment. The goal of this study was to compare the eutrophication status of a natural (Lake Kastoria) and an artificial lake (Lake Kerkini), which are both shallow lakes. To this purpose, various quality parameters were analysed and assessed. To achieve the goal of this study, data were collected from 2005 to 2014 and from 2016 to 2017 for Lake Kastoria, while for Lake Kerkini data were used for the period 2011 to 2016. Based on the trophic indexes of Carlson, the eutrophic status of the lakes was assessed. According to the results Lake Kerkini was more eutrophic than Lake Kastoria. The comparison of the aforementioned lakes revealed the importance of the residence time in order to characterize the eutrophication status of the lakes.

Keywords: eutrophication, artificial lake, natural lake, Carlson's trophic state index